AUS DEM FORSCHUNGSLABOR FÜR MEDIZINISCHE AKUSTIK
Audiologische Abteilung - Leiter: Prof. Dr. G. Esser
DER HNO - KLINIK DER UNIVERSITÄT DÜSSELDORF
Direktor: Prof. Dr. K.-H. Vosteen

Untersuchungen zur binauralen Signalerkennung bei begleitendem „Cocktailpartygeräusch" an Schulkindern

DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin.
Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von

Hermann Wilke
1982

AUS DEM FORSCHUNGSLABOR FÜR MEDIZINISCHE AKUSTIK
Audiologische Abteilung - Leiter: Prof. Dr. G. Esser
DER HNO - KLINIK DER UNIVERSITÄT DÜSSELDORF
Direktor: Prof. Dr. K.-H. Vosteen

Untersuchungen zur binauralen Signalerkennung bei begleitendem „Cocktailpartygeräusch" an Schulkindern

DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin.
Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von

Hermann Wilke
1982

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.: Prof. Dr. Brüster

Referent
gez.: Prof. Dr. Esser

Korreferent
gez.: Priv.-Doz. Dr. Karch

Meinen Eltern und meiner Frau

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535716_0050

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG
2	GRUNDLAGEN
2.1	Historischer Überblick
2.2	Problematik und Entwicklung von Sprachprüfungen
2.2.1	Grundlagen des Freiburger Sprachtestes
2.2.2	Eigenschaften des Freiburger Sprachtestes
2.3	Binaurale Signalerkennung
2.3.1	Nomenklatur
2.3.2	Entstehung der BMLD/BILD
2.3.3	Parameter für die Höhe der BMLD
2.3.3.1	Frequenz
2.3.3.2	Interaurale Phasen- und Zeitdifferenz
2.3.3.3	Intensität
2.3.3.4	Interaurale Korrelation
2.3.3.5	Bandbreite
2.3.4	BILD (binaural intellegibility level difference)
2.3.5	Theoretische Standpunkte und Modelle
2.4	Beitrag der binauralen Phänomene zur zentralen Hördiagnostik
2.5	Die ERA (Electric Response Audiometry) als "Screening - Methode" zur Erkennung einer zentralen Hörstörung
3	EIGENE UNTERSUCHUNGEN
3.1	Methodik
3.1.1	Auswahl der Versuchspersonen
3.1.2	Versuchsaufbau
3.1.3	Versuchsablauf
3.2	Ergebnisse
3.2.1	Ergebnisse bei der tonaudiometrischen Untersuchur
3.2.2	Ergebnisse bei der Tympanometrie
3.2.3	Ergebnisse bei der ERA
3.2.4	Ergebnisse des binauralen Sprachtestes
4	DISKUSSION
5	ZUSAMMENFASSUNG
6	LITERATURVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG

Es ist für einen Tonbandamateur eine bekannte Tatsache, daß die Aufzeichnung einer Gesprächsrunde mit nur einem Mikrofon, also monaural, eine kaum verständliche Wiedergabe der Unterhaltung bietet, wenn mehrere Teilnehmer sich gleichzeitig unterhalten. Dieses interessante Phänomen wurde nach CHERRY (1953) "Cocktailpartyeffekt" genannt.

Die Fähigkeit, verschiedene Schallquellen zu orten und sich auf eine bestimmte konzentrieren zu können, ist an beidohriges Hören fest gekoppelt. BERGMAN (1957) stellte in diesem Zusammenhang fest, daß das beidohrige Hören gegenüber einohrigem gleich mehrere Vorteile besitzt, die demnach bei Ausfall eines Ohres verlorengehen:

1) Lokalisation einer Schallquelle durch interaurale Zeit- und Phasenverschiebungen sowie Intensitätsunterschiede
2) Selektivität des Gehörten aufgrund der Lokalisationsmöglichkeit
3) Bessere Erkennung von Signalen in Ruhe und bei Umweltgeräuschen
4) Größere Fähigkeit zur Erkennung gewöhnlicher Klangstrukturen
5) "Einfacheres Hören" wegen der niedrigeren Hörschwelle für binaurale Signale
6) Eine bessere Klangqualität (nach MOIR (1952) entspricht ästhetisch eine Bandbreite von 3 750 Hz bei stereophoner Darbietung der von 15 000 Hz bei monophoner)

Für die Kommunikation am bedeutungsvollsten dürfte die Tatsache sein, daß die Verdeckung eines Nutzsignals durch ein aus einer anderen Richtung einfallendes Störsignal wesentlich geringer wird, wenn

statt einohrigem (monauralem) ein binaurales Hören möglich ist. Die Verbesserung der Signalwahrnehmung, oder - genauer ausgedrückt - die Abnahme der Mithörschwelle des Nutzsignals bei binauraler Beschallung gegenüber monauraler wird BMLD (binaural masking level difference) genannt. Hierbei entspricht die Mithörschwelle dem Pegel, bei dem das Nutzsignal sich gerade eben aus dem Störsignal "heraushebt".

Es ist in der Literatur teilweise üblich, bei Untersuchungen mit Sprachsignalen, bei denen nicht die Wahrnehmung, sondern die Verständlichkeit als Kriterium verwendet wird, von einem "Verständlichkeitspegelunterschied" BILD (binaural intellegibility level difference) zu sprechen.

Bislang ist eine große Anzahl von Arbeiten veröffentlicht worden, die sich mit der BMLD bzw. BILD unter verschiedenen Hörbedingungen befassen. So wird bei der Messung der Senkung der Mithörschwelle (BMLD) bzw. der Zunahme der Verständlichkeit (BILD) entweder auf eine monaurale Darbietung als Bezugsbedingung zurückgegriffen, oder aber - wie bei dieser Arbeit - auf eine binaurale, bei der beiden Ohren Stör- und Nutzsignal in identischer Form präsentiert werden. Diese hat sich der monauralen als gleichwertig in Bezug auf die BMLD bzw. BILD erwiesen (zB. JEFFRESS et al. 1956).

Ein weiterer Unterschied bezüglich der Hörbedingung betrifft die Art des Störsignals. So berichtet STUDEBAKER (1967; zit. n. SANDERS, 1972) von 56 verschiedenen Untersuchungen zur Verdeckung eines Signals in der Audiometrie. Eine Anzahl synthetischer Geräusche wurde bei den grundlegenden Arbeiten zur BILD als Störsignal verwendet, so zB. Breitband- und Schmalbandrauschen, Töne (vgl. GREEN, YOST, 1976); moduliertes Rauschen bzw. ebenfalls Sprachsignale (vgl. BLAUERT, 1974). Um ein Kriterium für das soziale Hörvermögen, das heißt, das

Hörvermögen in der Umgebung des täglichen Lebens (in der wir die Sprache häufig als Störfaktor vorfinden) zu erhalten, schien es sinnvoll, ein aus Sprache gebildetes Störgeräusch von genormtem Charakter - ein sogenanntes "Cocktailpartygeräusch" - anzuwenden. Mit seiner Hilfe sollten Normwerte für einen audiometrischen Test erstellt werden, der zur klinischen Prüfung geeignet ist.

2 GRUNDLAGEN

2.1 HISTORISCHER ÜBERBLICK

Da die Geschichte der Entwicklung audiometrischer Methoden auch die Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung beleuchten kann, soll hier in Kürze darauf eingegangen werden.

Hörstörungen in Bezug auf die sprachliche Kommunikation wurden lange Zeit durch die klassische Sprachabstandsprüfung mit Flüster- und Umgangssprache diagnostiziert. Abgesehen von mangelnder Reproduzierbarkeit und Objektivität konnte sie - wie auch die bekannten Stimmgabelversuche von RINNE (1855), SCHWABACH (1885) und WEBER (1846) nur qualitative Aussagen machen. Erst mit der Entwicklung von eichbaren Audiometern waren quantitative Messungen möglich. Es gelang nun, sowohl zB. den Grad einer Schwerhörigkeit ermitteln zu können (funktionelle Diagnostik), als auch vom Sitz der Störung sich ein genaueres Bild zu machen (topische Diagnostik).

In letzter Zeit hat die zentrale Hördiagnostik eine wichtige Rolle zur Beurteilung latenter Hörstörungen übernommen, die zB. tonaudiometrisch wenig auffällig sind. Der BILD - Test ermöglicht in diesem Rahmen beispielsweise die Beurteilung von Schulkindern, die in Ruhe keine nennenswerten Hörprobleme aufzeigen, bei denen aber das Wortverständnis unter Lärmbedingungen und Zusammentreffen mehrerer Lautquellen stark abnimmt.

Es wurde in der Vergangenheit viel zu häufig übersehen, daß oft weniger die mangelnde Intelligenz als eine zentrale Hörstörung für das unzureichende Bestehen in bestimmten Schulsituationen verantwortlich zu machen ist.

Grundlage für diesen audiometrischen Fortschritt war die Vervollkommnung der Sprachaudiometrie einerseits durch Nutzung technischer Gegebenheiten, wie zB. des Magnettonverfahrens ab 1947 durch SCHUBERT, als auch die Verbesserung des Sprachmaterials.

2.2 PROBLEMATIK UND ENTWICKLUNG VON SPRACHPRÜFUNGEN

Der "Freiburger Sprachtest"von HAHLBROCK stellt die Konsequenz einer Reihe von Verbesserungen des Sprachmaterials dar, das zu audiometrischen Zwecken verwendet wird. Die Begründung für seine Anwendung in dieser Arbeit leitet sich aus den Vorzügen her, die er gegenüber herkömmlichen Sprachprüfungen besitzt.

So entbehren willkürlich vorgesprochene Wörter der ständigen Vergleichbarkeit, denn Sprechweise und Wortwahl der verschiedenen Untersucher - wie auch Schwankungen der Sprechlautstärke (sogar intraindividuell) und Deutlichkeit der Aussprache - gehen in die Messungen ein. Die Verschiedenartigkeit der Frequenzbereiche der Sprache einzelner Prüfer und unterschiedliche Dialekte werden ebenfalls im Meßergebnis miterfaßt, wobei wechselnde raumakustische Gegebenheiten und Wandreflexionen noch nicht einmal berücksichtigt wurden. LANGENBECK (1970) weist darauf hin, daß zusätzlich geistig - seelische Fähigkeiten geprüft werden, weil der Proband oft den Mund und das Gesicht des Untersuchers sehen kann. Es galt also, möglichst für den gesamten deutschsprachigen Raum ein normiertes Prüfmaterial zu gewinnen, das eine einheitliche Bewertung der Fähigkeiten des Probanden in Bezug auf sein Sprachverständnis zuläßt.

Stadien dieser Entwicklung waren zB. der Sprachtest von BEZOLD, der nach begrifflichen Kriterien aus-

gewählt wurde, sowie die Prüfung mit Logotomen, also sinnlosen Silben, durch BARANY (1910) und ferner die Wechsellautreihen von LAMPERT (1923), die aus konsonantischen und vokalischen Reihen mit jeweils wechselnden An-, In- und Auslauten bestanden. Weitere Impulse zur Gewinnung von Sprachprüfungen stammten aus Amerika, wo in den Jahren 1942 - 1946 die Sprachaudiometrie ein hohes Niveau erlangte. Wegen der sprachlichen Eigenheiten war es jedoch nicht möglich, einen internationalen Test zu erhalten.

MEISTER (1953) führte in Deutschland einen überarbeiteten Test mit einsilbigen Wörtern ein ("objektive Sprachgehörprüfung").

HAHLBROCK gelang es schließlich, einen Sprachtest zu erstellen, der sowohl in sprachlicher wie technischer Hinsicht viele Kriterien berücksichtigt, den Freiburger Sprachtest.

2.2.1 Grundlagen des Freiburger Sprachtestes

Die Schaffung des Freiburger Worttestes ging von der Voraussetzung aus, daß Wörtergruppen dargeboten werden, die an das Hörvermögen gleiche Anforderungen stellen. Sie sollen Hörreize bilden, auf die alle Probanden in gleicher Weise reagieren. Es wurde eine eklektische Kombination angestrebt, das heißt, es soll ein Rückschluß vom richtig gefundenen Sinn auf die genaue Lautfolge und damit praktisch eine Messung des Wortverständnisses erfolgen (HAHLBROCK, 1970).

FALCONNET (1950) stellte eine Skala auf, wobei er - beginnend bei der leichtesten Verständlichkeit - ganze Sätze, dann Zahlen, Wochentage, Monate, Vornamen, weiterhin gebräuchliche Wörter, ungebräuchliche Wörter und schließlich Logotome als Hörreize aufzählte,

die am schlechtesten verstanden werden. Eine unbekannte Fremdsprache übertrifft diese sogar noch an Schwierigkeit. EGAN (1948) gab an, daß ganz allgemein die Verständlichkeit mit der Lautzahl zunimmt. Somit ergaben sich für die Erstellung der Wortreihen des Freiburger Sprachtestes folgende Grundforderungen: Allgemeinverständlichkeit, Gebräuchlichkeit der Wörter, Homogenität des Testmaterials und Sinnhaftigkeit, um einerseits ein verwendbares Material für eine vielschichtige Probandengruppe zu besitzen, das aber andererseits die für Testzwecke genügend eingeschränkte Redundanz enthält.

2.2.2 Eigenschaften des Freiburger Sprachtestes

Aus 800 Wörtern innerhalb der 2000 häufigsten Wortformen wurden nach einer Untersuchung auf Lautwerte

einsilbige Wörter nach DIN 45 621	
1.	Ring Spott Farm Hang Geist Zahl Hund Bach Floh Lärm Durst Teig Prinz Aas Schreck Nuß Wolf Braut Kern Stich
2.	Holz Ruß Mark Stein Glied Fleck Busch Schloß Bart Ei Werk Dach Knie Traum Paß Kunst Mönch Los Schrift Fall
3.	Blatt Stift Hohn Zweck Aal Furcht Leim Dorf Tat Kerl Schutz Wind Maus Reif Bank Klee Stock Wuchs Mist Gras
4.	Schnee Wurst Zahn Pest Griff Laub Mund Grab Heft Kopf Reiz Frist Drang Fuß Öl Schleim Takt Kinn Stoß Ball
5.	Punkt Ziel Fest Darm Schein Torf Lamm Wehr Glas Huf Spind Pfau Block Arm Neid Stroh Wurf Rest Blick Schlag
6.	Seil Pfand Netz Flur Schild Ochs Draht Hemd Schmutz Rat Tau Milch Rost Kahn Tier Brot Dunst Haar Feld Schwein
7.	Spiel Moos Lachs Glut Erz Baum Sand Reich Kuh Schiff Wort Hecht Mann Bruch Schopf Fels Kranz Teich Dienst Star
8.	Luft Band Kost Ski Feind Herr Pflug Tal Gift Raum Ernst Zeug Fach Groll Speck Sitz Moor Last Krach Schwung
9.	Schmerz Thron Eis Funk Baß Rind Lehm Grog Blei Markt Schilf Hut Zank Korb Lauf Dank Sarg Kies Schnur Pech
10.	Horn Pfeil Kamm Turm Spieß Laus Recht Zopf Schall Mais Fell Gramm Ohr Sieb Pracht Lump Gips Bad Sprung Dreck
11.	Bild Frosch Abt Ruhm Herz Mond Garn Bau Sicht Huhn Lack Kreis Pferd Pelz Schlacht Witz Form Stuhl Teil Rand
12.	Brett Schuß Saft Pilz Ort Kraut Schwert Tag Gleis Vieh Spalt Sohn Druck Held Bahn List Flug Narr Kork Reis
13.	Staub Licht Tracht Herd Not Wein Fluch Kalk Biß Grund Weg Faß Schmied Roß Amt Puls Meer Graf Schweiß Dolch
14.	Schrift Ruf Gas Wert Korn Schrei Pfahl Blech Faust Rang Lohn Nest Pult Schicht Zoll Heu Angst Brust Dieb Stand
15.	Knecht Schaf Lust Berg Docht Zeit Schlamm Kind Preis Uhr Mal Speer Fluß Sinn Rock Haupt Gang Trieb Boot Schmalz
16.	Bund Stiel Wachs Reim Geld Tor Duft Stück Arzt Mehl Trotz Pfad Heil Brief Sau Fracht Dung Stern Loch Maß
17.	Fink Schlauch Reh Grad Floß Hirn Fuchs Bein Napf Teer Stolz Art Wurm Ding Trab Bett Kleid Schatz Wut Pflock
18.	Schnitt Frau Land Helm Bock Flucht Scherz Keil Rast Gruß Wohl Plan Krieg Ast Pfiff Weib Sturm Fang Tee Mord
19.	Frucht Schlitz See Schar Gold Leib Wunsch Fraß Stier Ton Heer Dachs Bauch Kreuz Akt Pfund Sekt Glück Molch Rad
20.	Fleisch Welt Rohr Park Flut Grieß Saum Krebs Hand Gott Schuh Film Damm Zelt Koch Hanf Leid Bier Spruch Axt

Abb. 1 Die Wörter des Freiburger Sprachtestes

nach SIEBS 400 Wörter in 20 Gruppen zu 20 Wörtern ausgewählt, wobei assoziative Verbindungen wie zB. "Brot" - "Mehl" gemieden wurden. In phonetischer Hinsicht konzipierte man die Testgruppen auf gleiche lautliche Zusammensetzung hin. So besteht jede Gruppe aus 10 Wörtern zu 4, 7 Wörtern zu 3, 2 Wörtern zu 5 und 1 Wort zu 2 Lauten. Die Anlaute sind weiterhin angeglichen worden. Der Abstand der Wortdarbietungen beträgt nach einem Vorschlag der Physikalisch - Technischen Bundesanstalt 4 Sekunden und stellt einen optimalen Kompromiß zwischen einer möglichen Ermüdung und der notwendigen Nachdenkzeit dar. Die Nachteile der Darbietung durch verschiedene Personen wurden vermieden, indem ein trainierter Rundfunksprecher unter Einhaltung einer gleichmäßigen Vortragslautstärke die Wortgruppen auf Band sprach. So konnten die Toleranzen der gemessenen Maximalwerte der Sprachamplituden auf $\pm$ 0,5 dB eingeschränkt werden (HAHLBROCK, 1970). Der Freiburger Sprachtest bietet damit ein objektiv vergleichbares Testmaterial.

2.3 BINAURALE SIGNALERKENNUNG

Der Freiburger Sprachtest dient zur Untersuchung der eingangs bereits erwähnten Erhöhung der Mithörschwelle (BMLD), bzw. der Verständlichkeitszunahme (BILD) bei binauraler Beschallung. Erste Hinweise auf die Existenz dieses Phänomens finden sich bei HIRSH (1948) und - für Sprachsignale - bei LICKLIDER (1948).

Zur Erläuterung stelle man sich die monotische Darbietung eines Nutz- und Störsignals vor. Unterhalb eines gewissen Nutzsignalpegels wird nur noch das Störsignal gehört. Fügt man dem bislang nicht beschallten Ohr ebenfalls das Rauschsignal zu, so wird das Nutzsignal wieder hörbar, sofern es bis zu 9 dB unterhalb

des Pegels in der monotischen Konstellation liegt. Die BMLD beträgt in diesem Fall 9 dB, sie liefert in anderen Vorspielsituationen verschieden Werte. Im Schrifttum verwendet man zur Kennzeichnung der Schalldarbietungsformen Symbole, die einer Erklärung bedürfen.

2.3.1 Nomenklatur

Das Nutzsignal ("signal") wird mit "S", das Störsignal ("noise") mit "N" bezeichnet. Beide erhalten folgende Indizes (nach BLAUERT, 1974):

m	= monotische Darbietung
φ, o, π	= dichotische Darbietung mit interauralem Phasenmaß φ, o, π
τ	= dichotische Darbietung mit interauraler Zeitdifferenz τ_{ph}
u	= dichotische Darbietung mit interaural unkorrelierten Signalen

Bei gleichen Stimuli bezüglich Frequenz, Phasenlage und Pegel auf beiden Ohren spricht man von "diotischer" Darbietung
(Beispiel: $N_o S_o$).

Werden Signal und Störgeräusch auf einem Ohr in gleichem Sinne geändert, so liegt eine "homophasische" Bedingung vor
(Beispiel: $N_\pi S_\pi$).

Die Phasenänderung bezüglich einer Komponente eines Ohres hat eine "antiphasische" Konstellation zur Folge
(Beispiel: $N_o S_\pi$).

"Heterophasisch" sind solche Stimuli, bei denen das Störgeräusch unkorreliert ist
(Beispiel: $N_u S_o$).

(u.a. nach JEFFRESS, 1972). Im übrigen nennt man

alle nicht diotischen binauralen Bedingungen "dichotisch" (nach STUMPF, 1916).

Werte für die einzelnen Darbietungen sind der Tab. 1 zu entnehmen.

Darbietungs-form	HIRSH[1]	GREEN, YOST[2]	GREEN, HENNING[3]	YOST, NIELSEN[4]
$N_m S_m$	0	0		0
$N_o S_o$; $N_\pi S_\pi$	0		0	0
$N_u S_m$		0		
$N_u S_\pi$		3	3	
$N_u S_o$		4	3	
$N_\pi S_m$	0 ?	6		6
$N_o S_m$	6...9	9		9
$N_\pi S_o$	9...12	13	12...14	13
$N_o S_\pi$	12...15	15	12...14	15

1) zit. nach BLAUERT

2) N = kontinuierliches weißes Rauschen; S = Sinuston (f = 500 Hz, t = 10...100 ms Pulsdauer)

3) Werte nach ROBINSON und JEFFRESS

4) N = weißes Rauschen; S = gepulster niederfrequenter Sinuston (t = länger 100 ms)

Tab. 1 Werte der BMLD für bestimmte Darbietungskonstellationen (in dB)

2.3.2 Entstehung der BMLD / BILD

Eine eindrucksvolle Darstellung des Effektes, um den es bei der BMLD oder BILD geht, läßt sich nach der WEBSTER - Hypothese anhand eines Oszillographen durchführen (JEFFRESS, 1972): Benutzt man zur horizontalen Ablenkung des Kathodenstrahles das Signal eines Ohrhörers und im gleichen Sinne zur vertikalen Ablenkung das Signal des anderen, so erhält man für die diotische Darbietung N_oS_o eine schmale Ellipse auf dem Bildschirm von links unten nach rechts oben. Dies entspricht einer nahezu vollständigen positiven Korrelation. Die Umpolung beispielsweise des vertikalen Ablenksignales - entsprechend der homophasischen Bedingung $N_\pi S_\pi$ ergibt eine schmale Ellipse von rechts unten nach links oben, also eine fast komplette negative Korrelation.

In dem Moment, wo man nicht das gesamte Signal einer Ablenkeinheit, sondern lediglich den Nutzsignalanteil in der Phase vertauscht, reicht das entstehende Oszillogramm unter Umständen weit über die Schirmfläche hinaus. Es genügen folglich in der antiphasischen Bedingung relativ geringe Signalanteile, um große Amplituden im Oszillogramm zu erzielen. Man kann hieraus den Rückschluß ziehen, daß die Phasenlage Grund für den Amplitudenzuwachs ist.

WEBSTER vermutete, daß das Geräuschband, welches einen Ton verdeckt (das sogenannte "critical band"), als eine in Amplitude und Frequenz sich ständig leicht ändernde Art Sinuskurve aufgefaßt werden kann. Das Hinzufügen eines Tonsignals ergibt nun ein Summensignal, das sich in der Phase vom Originalgeräusch unterscheidet. Diese interaurale Phasendifferenz schafft eine Basis für die binaurale Erkennung. Sie könnte - nach WEBSTER - im ZNS als interaurale Zeitdifferenz gewertet werden

(JEFFRESS, 1972).

2.3.3 Parameter für die Höhe der BMLD

Wie sich gezeigt hat, ist die BMLD unter anderem von der Frequenz, Phase, Intensität, interauralen Korrelation und der Bandbreite der Signale abhängig. Die interindividuelle Variabilität scheint dagegen bei den meisten Versuchen mit der BMLD klein auszufallen (GREEN, YOST, 1976).

2.3.3.1 Frequenz

Die BMLD ist frequenzabhängig, und zwar besitzt sie ihr Maximum bei etwa 200 Hz (bis zu 15 dB bei N_0S_π) und fällt mit steigender Frequenz, bis sie ab etwa 2 kHz konstante Werte bis zu 3 dB aufweist. Eine Erklärung für dieses Verhalten liegt in der Tatsache begründet, daß bei niedrigen Frequenzen die Steigung der Signalkurve flacher und der Einsatzpunkt des neuralen Schwellwertes variabler wird (GREEN, HENNING, 1969). Hierdurch ergibt sich eine größere interaurale Zeitdifferenz, die schon vorher als mögliche Ursache der BMLD angesprochen wurde.

2.3.3.2 Interaurale Phasen- bzw. Zeitdifferenz

Es hat sich gezeigt, daß die BMLD bei interauralen Zeitdifferenzen von 1,5 bis 2 ms maximal wird (SCHENKEL, 1964; FLANAGAN, WATSON, 1966). Interessant ist, daß das Maximum immer dann auftritt, wenn die interaurale Phasenlage des Nutzsignals entgegengesetzt zu der des Störsignals ist, wobei allerdings mit zunehmender interauraler Verzögerungszeit des Störsignals die Höhe

der Maxima abnimmt, bis schließlich bei Zeitverzögerungen von 10 bis 20 ms die Ohrsignale als inkohärent behandelt werden (LANGFORD, JEFFRESS, 1964).

2.3.3.3 Intensität

Auch eine Pegelabhängigkeit läßt sich bei der BMLD nachweisen. Ganz allgemein nimmt die BMLD mit steigendem Störsignalpegel zu (HIRSH, 1948; BLODGETT et al., 1962) und ist am größten, wenn die Nutzsignalpegel in beiden Ohren gleich groß sind (ZERLIN, 1966).

2.3.3.4 Interaurale Korrelation

Durch Hinzufügen von zwei unkorrelierten Rauschquellen zu einer dritten, beidohrig korrelierten, konnte ermittelt werden, daß der Wert der BMLD bei vollständiger Korrelation und gleicher Phase zwischen Stör- und Nutzsignal (zB. N_oS_o) 0 dB beträgt. Er erreicht 3 dB bei unabhängigen Rauschquellen (zB. N_uS_o) und ca. 12 dB bei vollständiger Korrelation, aber gegenphasiger Konstellation (zB. N_oS_π) (ROBINSON, JEFFRESS, 1963).

2.3.3.5 Bandbreite

Die Bandbreite des Störgeräusches ist ebenfalls für die BMLD von Bedeutung. JEFFRESS und BOURBON (1965) entdeckten, daß die BMLD mit kleiner werdender Bandbreite des Störsignals anwächst. Werte um 25 dB (bei N_oS_π) konnten bei einem Störgeräusch von 4,2 Hz Bandbreite gegenüber 15 dB bei breitbandigem Rauschen von METZ et al. (1967) berichtet werden.

2.3.4 B I L D (b i n a u r a l i n t e l l e g i - b i l i t y l e v e l d i f f e r e n c e)

Im Unterschied zur BMLD wird die BILD, also die Erhöhung des binauralen Verständlichkeitspegels, als Differenz der Pegel bestimmt, bei denen eine vereinbarte Silbenverständlichkeit (nach BLAUERT (1974) in der Regel 50 %) erreicht wird. Licklider (1948) befaßte sich als Erster eingehend mit der BILD. Seine Ergebnisse zeigen, daß die Hierarchie der BILD - Werte derjenigen der BMLD entspricht (BLAUERT, 1974), die BILD jedoch meist sehr viel kleiner als die korrespondierende BMLD ist, was auch durch spätere Untersuchungen bestätigt werden konnte.

Für die Größe der BILD halten SCHUBERT und SCHULTZ (1962) wie auch FLANAGAN und WATSON (1966) den Frequenzbereich von etwa 250 bis 500 Hz der dargebotenen Sprache für maßgebend, während LEVITT und RABINER (1967) auch höheren Frequenzanteilen eine Mitwirkung zusprechen.

Berücksichtigt man dagegen lediglich die Bedeutung der Frequenzbereiche für das Sprachverständnis, so spielen die Frequenzen unterhalb 500 Hz keine Rolle, da ohne sie noch Verständlichkeiten von 96 % erreicht werden (GOETZINGER, 1972).

2.3.5 T h e o r e t i s c h e S t a n d - p u n k t e u n d M o d e l l e

Spielt man Versuchspersonen über Kopfhörer Signale vor, deren Kohärenzgrad variiert werden kann, so geben sie bei vollständig kohärenten Signalen einheitliche Hörereignisse in der Medianebene des Kopfes mit relativ geringer Ausdehnung an. Sinkt der Kohärenzgrad, so wird die Hörereignisausdehnung breiter, bis sie schließlich bei einem Kohärenzgrad

von $k < 0{,}4$ in zwei räumlich getrennte Hörereignisse übergeht. Erweitert man diese Versuche durch Zufügen weiterer Signale, kann es - je nach Kohärenzgrad - zu mehreren räumlich getrennten Hörereignissen kommen. Diese Trennung wird zum Beispiel durch unterschiedliche interaurale Zeit- bzw. Pegeldifferenzen erreicht. Da das Gehör offensichtlich in der Lage ist, interaural kohärente Anteile aus teilkohärenten Ohrsignalen herauszufinden, kann die Verwendung von Korrelationsprozessen bei der Signalauswertung im Gehör vermutet werden (BLAUERT, 1974).

JEFFRESS (1948) stellte hierfür ein theoretisches Modell auf, das sogenannte Koinzidenzmodell. Hiernach werden Nervenimpulse eines Ohres ipsilateral durch eine Laufzeitkette verzögert und Multiplikatorzellen zugeführt, die jeweils nur dann ein Ausgangssignal bieten, wenn an ihrem Eingang zwei Impulse gleichzeitig erscheinen. Bezüglich der binauralen Signalauswertung wurde dieses Modell zu einem Vektormodell erweitert (JEFFRESS et al., 1956), bei dem die interauralen Zeitdifferenzen ausgewertet werden, die entstehen, wenn zwischen Nutz- und Störsignalen unterschiedliche interaurale Phasendifferenzen bestehen. Diese können beispielsweise den Gehöreindruck aus der Medianebene lösen und dem Signal bzw. Geräusch verschiedene Hörorte zuordnen, was bessere Erkennbarkeit bedeuten würde. Neurophysiologen konnten diesbezüglich bestätigen, daß es Nervenfasern gibt, die ein Signal phasengetreu verarbeiten können, ohne auf Pegeländerungen wesentlich zu reagieren und andererseits auch Fasern, die intensitätsabhängig eine Reizantwort liefern (JEFFRESS, 1972).

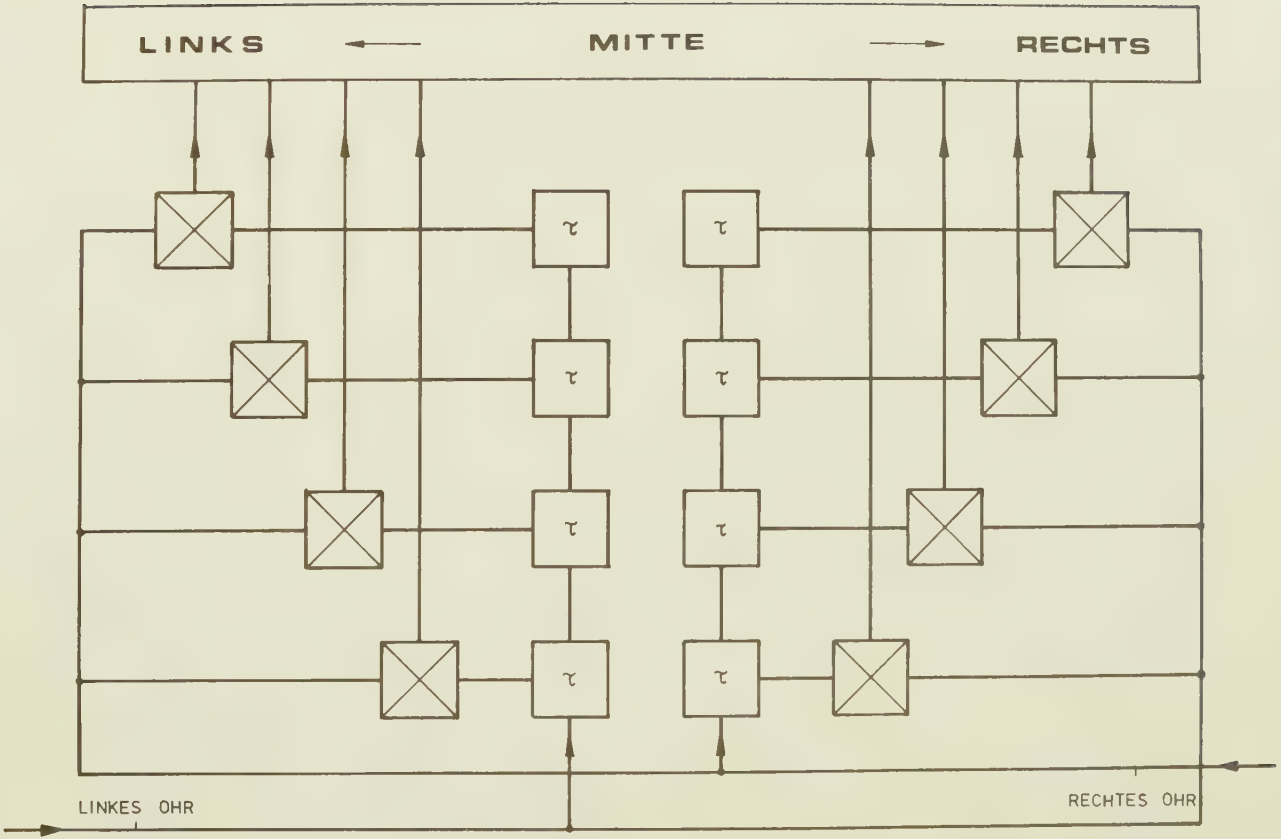

Abb. 2 Das Koinzidenzmodell von JEFFRESS (n. BLAUERT)

DURLACH (1963) entwickelte dagegen eine Theorie, die die Elimination von Störgeräuschen durch Transformation der Ohrsignale annimmt. Dabei werden die Störsignale auf gleiche Größe gebracht (equalization) und nach Abzug des einen Ohrsignals vom anderen (cancellation) minimal. Die Frequenzabhängigkeit der BMLD bzw. BILD begründet DURLACH mit Unregelmäßigkeiten bei der Signalverarbeitung. So können kleine Zeitunterschiede zwischen linkem und rechtem Ohrsignal auftreten, die bei höheren Frequenzen naturgemäß weitreichendere Phasenänderungen haben als bei niedrigen, und zum anderen dürften kleine Amplitudenschwankungen die ideale Subtraktion zu Null verhindern.

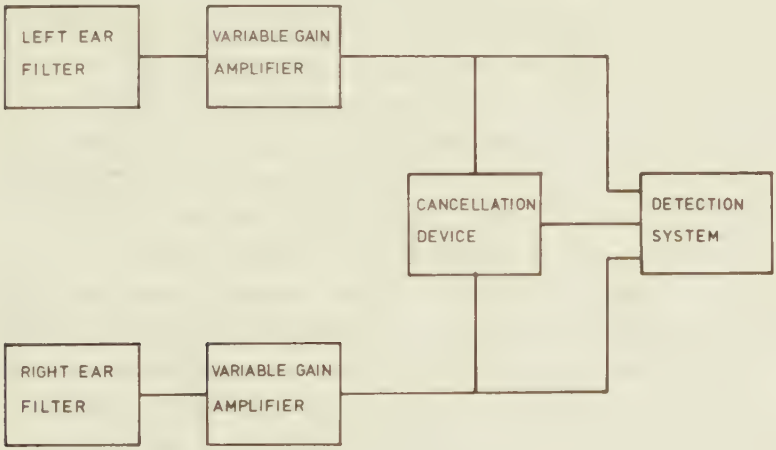

Abb. 3 Das "Equalization and Cancellation" - Modell von DURLACH (n. GREEN und YOST)

GREEN und HENNING (1969) haben das DURLACH'sche und WEBSTER - JEFFRESS'sche Modell verglichen und das letztere als physiologisch wahrscheinlicher bezeichnet. Es macht dagegen über die Art der Fehler, die beim interauralen Zeitvergleich auftreten, nur vage Aussagen.

2.4 BEITRAG DER BINAURALEN PHÄNOMENE ZUR ZENTRALEN HÖRDIAGNOSTIK

Zentrale Hörstörungen treten meist bilateral auf. Vielfältige Kompensationsmechanismen larvieren oft die Symptomatik, die in leichter Ermüdbarkeit und gestörter zentraler Synthese beidohrig gehörter Signale besteht. Als Ursachen können Enzephalitiden, die im Bereich der Hirnrinde und tieferen Teilen der Hörbahn und ihrer Kerne angreifen, sowie Meningitiden mit Auswirkungen auf den Hörnerven oder das Innenohr auftreten. Ferner kommen Schäden im Bereich der Hörrinde sowie benachbarter Rindenfelder zum Tragen, die akustische Verständnis- und Erinnerungsstörungen verursachen. Bei zentralen Hörstörungen ist weniger das Hören als das Verstehen geschädigt (PLATH, 1976). Allgemein gilt: Je höher die zerebrale Läsion sitzt, desto unauffälliger wird sie (GREINER, CONRAUX, 1966).

Die Hörschwellendiagnostik bzw. die Stimmgabelprüfungen führen bei der Erforschung zentraler Störungen nicht weiter, und so war früher praktisch nur eine neurologische Untersuchung möglich. Mittlerweile gibt es eine Reihe von Untersuchungsmethoden, die derartige pathologische Zustände entschleiern können.

So fällt eine Hörnervenstörung im Geräuschaudiogramm nach LANGENBECK durch ein Absinken der Geräusch-

Tonschwelle unter die benutzte Geräuschlautstärke auf; die Verdeckbarkeit von Tönen im Geräusch ist also vergrößert (LANGENBECK, 1970).

Ein pathologisches Richtungshören kann Hinweise auf Temporallappenläsionen und Stammhirnprozesse liefern (LANGENBECK, 1970).

Extrapyramidale Läsionen, Rindenherde vaskulärer Natur sowie Tumoren des Schläfenlappens haben oft eine anormale Hörermüdung und Adaptation zur Folge (GREINER, CONRAUX, 1966).

Weitere Indikatoren für einen zentralen Sitz der Hörstörung sind die Prüfungen der zentralen Sprachverständlichkeit. Sprache besitzt eine hohe Redundanz. Wird diese auf ein Minimum verringert, erreicht man die Leistungsgrenzen des ZNS und deckt Lücken in der Hörbahn auf (LANGENBECK, 1970). Es gibt hierzu mehrere Möglichkeiten, von denen BOCCA schließlich folgende für klinisch verwendbar hält:

1) Verstümmelte Sprache zur Untersuchung von Affektionen im Bereich des dritten Neurons.
2) Unterbrochene Sprache und binaurale Integration zur Entdeckung tiefer Temporallappenprozesse.

Die binaurale Integration ist ein subcortical vollzogener Vorgang. Auf dieser Grundlage beruhen zum Beispiel: der Binauraltest nach MATZKER, bei dem das gleiche Wort - durch einen Hochpaß gefiltert - das eine Ohr, und über einen Tiefpaß das andere erreicht, sowie der dichotische Diskriminationstest nach FELDMANN. Er wird durchgeführt, indem zwei mehrsilbige Wörter in synchronem Rhythmus dem rechten bzw. linken Ohr zugeführt werden.

Die Entstehung einer BMLD bzw. BILD scheint anatomisch dem Bereich des Corpus trapezoideum und zugehöriger Mittelhirnstrukturen zuzuordnen zu sein

(BERLIN, LOWE, 1972). Bereits Störungen auf dieser Ebene dürften sich auf die BMLD bzw. BILD auswirken.

Bei allen Sprachtests, die zur Untersuchung zentraler Hörstörungen herangezogen werden, besteht allerdings stets das Problem, daß gleichzeitig das Gehör und das Sprachvermögen geprüft werden. Gerade die Redundanz der verwendeten Wörter bietet die Möglichkeit der intellektuellen Kompensation, was naturgemäß die Individuen im Test bevorzugt, die hierzu vermehrt befähigt sind. Hierauf weist GASTALDI (1960) hin. Der Wahl des geeigneten Sprachmaterials muß daher große Bedeutung beigemessen werden.

2.5 DIE ERA (ELECTRIC RESPONSE AUDIOMETRY) ALS "SCREENING-METHODE" ZUR ERKENNUNG EINER ZENTRALEN HÖRSTÖRUNG

Die Erstellung von Normwerten für einen audiometrischen Test, der durch zentrale Hörschäden beeinflußt wird, setzt voraus, daß bei den Testpersonen eine solche Störung gerade ausgeschlossen werden kann.

Die von KEIDEL und SPRENG (1963) in die klinische Anwendung gebrachte ERA (Electric Response Audiometry) macht sich das Prinzip zunutze, die an sich in der Spontanaktivität des menschlichen Gehirns untergehenden Antwortpotentiale auf akustische Reize durch ein rechnergesteuertes Mittelungsverfahren darzustellen. Hierbei wird ein Tonsignal von 500 ms Dauer dargeboten und synchron ein Rechenvorgang ausgelöst, der durch Mittelwertsbildung die zufällig verteilten Spontanpotentiale mit steigender Anzahl von Meßzyklen zunehmend eliminiert, während die in Bezug auf den Reiz annähernd zeitkonstanten Antwortpotentiale deut-

licher, das heißt, mit größerer Amplitude erscheinen.

SCHUNICHT und ESSER (1973) zeigten, daß der Reizperiode, bestehend aus Reizdauer und Pausendauer, eine besondere Bedeutung zukommt. Sie variierten die Periodendauer bei konstanter Reizdauer (500 ms) und stellten dabei bei neuralen Hörstörungen eine eigentümliche Verformung der Reizantwort bei Verkürzung der Periodendauer von T = 5 s auf T = 1 s fest, die bei Normalhörenden nicht erfolgte. Anhand vergleichender Untersuchungen bestand eine Korrelation zu anderen audiometrischen und auch anamnestischen Daten (SCHUNICHT, ESSER, 1975).

Die bei der folgenden Untersuchung getesteten Kinder nahmen an einer ERA teil, um Hinweise auf das Vorliegen zentraler Hörstörungen zu erhalten.

3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1 METHODIK

3.1.1 Auswahl der Versuchspersonen

Zur Durchführung der Versuche wurden Schulkinder im Alter von 11 - 15 Jahren (Durchschnittsalter: 13,0 $\pm$ 1,3 Jahre) aus dem Großraum Düsseldorf herangezogen. Hierbei konnte vorausgesetzt werden, daß einerseits das Sprachmaterial des Freiburger Sprachtestes als geläufig betrachtet werden durfte, andererseits mit einiger Wahrscheinlichkeit eine Altersgruppe ohne erworbene Hörschädigungen zur Verfügung stand.

Von den Versuchspersonen wurde jeweils ein Tonaudiogramm, ein Tympanogramm sowie eine ERA zur globalen Hörprüfung angefertigt. Es blieben schließlich 19 normalhörige bzw. 4 nur bei einer der Hörprüfungen auffällige Schulkinder übrig (davon 2 mit pathologischem Tonaudiogramm und 2 mit pathologischer ERA). Von den 19 normalhörigen nahmen 16 an beiden binauralen Sprachprüfungen teil, 3 dagegen nur an einer. Als Grenze für Normalhörigkeit galt ein Hörverlust von mehr als 20 dB bei einer einzelnen Testfrequenz im Tonaudiogramm, bzw. eine ERA - Kennzahl größer als 3,0 in der Skala von 1,0 bis 5,0. Für das Tympanogramm wurden Werte von $\pm$ 100 mmHg als Grenze festgelegt, die aber von keinem der Probanden erreicht wurden.

3.1.2 Versuchsaufbau

Der binaurale Sprachtest wurde auf einer Anlage dargeboten, die wie folgt aufgebaut ist:

Zwei Eingangsverstärker dienen zur Pegeleinstellung des Nutzsignals ("S") bzw. des Geräuschsignals ("N"). Ihnen ist jeweils ein Meßgerät zur Pegelmessung nachgeschaltet. Über zwei Summenverstärker wird einerseits ein aus Nutz- und Geräuschsignal zu gleichen Teilen bestehendes Summensignal gebildet, zum anderen kann ein um 180° phasenverschobenes oder aber ein gleichphasiges Nutzsignal dem vorhandenen Geräuschsignal auf dem anderen Kanal zugeführt werden. Die Phasenverschiebung geschieht durch eine Inverterschaltung. Somit lassen sich die Bedingungen N_oS_o bzw. N_oS_π herstellen. Die beiden so gewonnenen Summensignale gelangen zu den beiden externen Eingängen eines Audiometers, das eine in HTL ("hearing threshold level") ablesbare dB - Einstellung ermöglicht. Die Signale werden den beiden Systemen eines Kopfhörers zugeleitet.

Als Signalquelle für die Anlage diente beim ersten Testablauf ein Studiotonbandgerät, das im Halbspurverfahren beide Signale (S+N) auf jeweils getrennten Spuren synchron abgab (s. Abb. 4). Beim nachfolgenden Test wurden zwei Tonbandgeräte angeschlossen, die unabhängig voneinander jeweils das Geräusch- bzw. Nutzsignal abspielten (s. Abb. 5).

Der Aufbau wurde zunächst auf Phasendifferenzen zwischen den beiden Übertragungskanälen getestet. Ein angeschlossener 2 - Kanal - Oszillograf zeigte ausgezeichnete Phasenübereinstimmung zwischen den beiden Kanälen bei Sinus - Testfrequenzen zwischen 40 und 10 000 Hz. Außerdem wurde die exakte Gegenphasigkeit des Nutzsignals überprüft, indem beiden Kanälen parallel ein Sinussignal angeboten wurde,

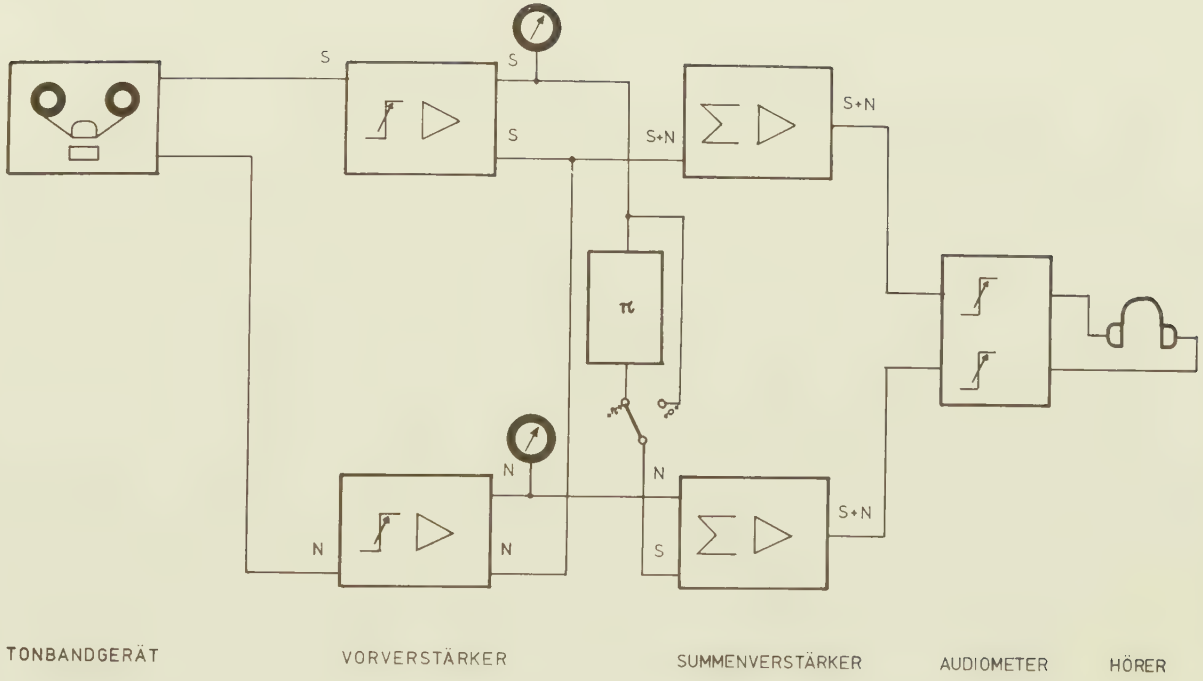

Abb. 4 Experimenteller Aufbau zur Durchführung des binauralen Sprachtestes (1. Testablauf)

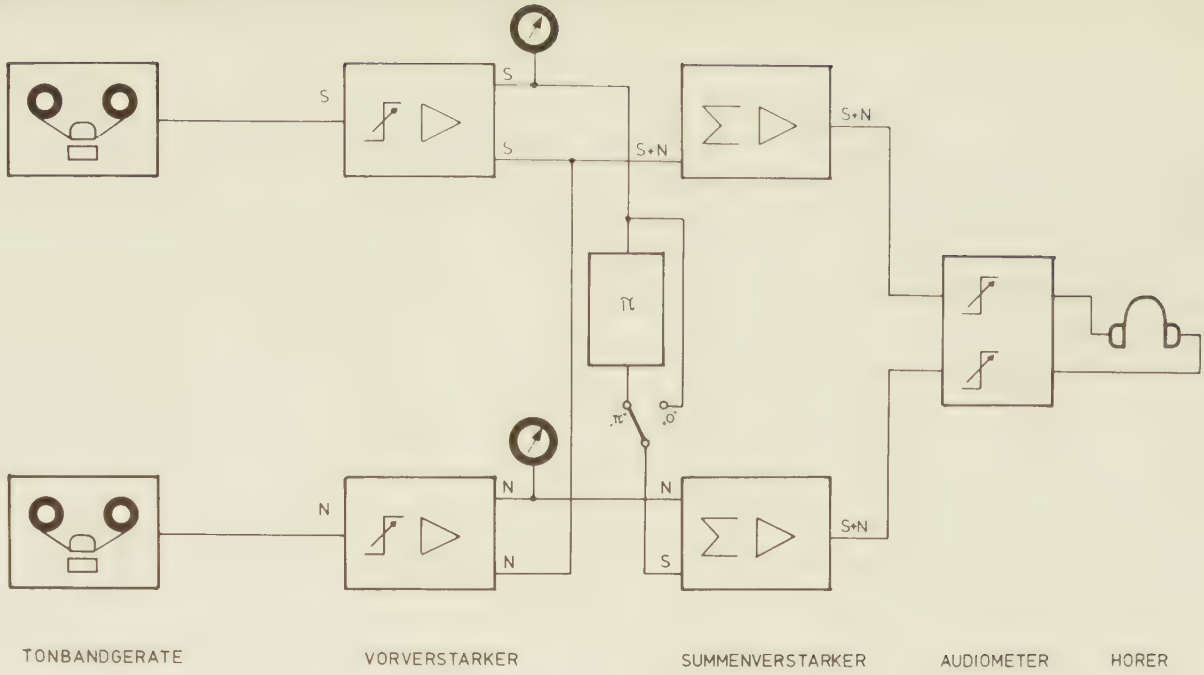

Abb. 5 Experimenteller Aufbau zur Durchführung des binauralen Sprachtestes (2. Testablauf)

das einmal direkt, zum anderen über die bereits erwähnte Inverterschaltung auf den Summenverstärker gelangte. Bei idealer Gegenphasigkeit ist hierbei eine Auslöschung der Signale zu erwarten. In der Tat konnte eine Unterdrückung des Sinustones durch das gleichzeitig eingespeiste gegenphasige Signal um mehr als 28 dB im Bereich von 250 bis 15 000 Hz erreicht werden. Schließlich wurde auch die genaue Pegelstellung der Vorverstärker überprüft. Die vorgegebenen Verstärkungsstufen von jeweils 3 dB wurden mit einer Genauigkeit von weniger als 1 dB Abweichung eingehalten. Zwischen den Kanälen bestand ebenfalls eine Differenz, die weniger als 1 dB betrug. Über ein sogenanntes "künstliches Ohr" mit angeschlossenem Präzisionspegelmeßgerät, das eine Impulsanzeige bot, wurde schließlich noch der tatsächlich auftretende akustische Pegel ermittelt. Vom Sollpegel wichen die Werte nicht mehr als 4 % ab.

3.1.3 V e r s u c h s a b l a u f

Es sind zwei Versuchsserien mit dem Ziel angelegt worden, systematische Fehler aufzudecken. In der ersten Testreihe wurde den Versuchspersonen von einem Tonbandgerät synchron Nutz- und Störsignal angeboten, ferner wurde jeder Versuch mit Zeile 1 (bzw. bei einem Teil der Versuchspersonen Zeile 3) des Freiburger Sprachtestes begonnen (vgl. auch Abb. 4).

Die zweite Serie sollte durch die Synchronisation der beiden Signale bedingte Artefakte aufdecken und zusätzlich eventuelle Unterschiede in der postulierten Gleichwertigkeit der Reihen des Freiburger Sprachtestes ausschließen. Aus diesem Grunde wurde stets der Beginn nach festliegendem Schema geändert. Die erste Versuchsperson startete mit Zeile 1 des Testes,

die zweite mit Zeile 2 und so fort. Der 6. Proband begann schließlich mit Zeile 6. Der 7. Prüfling fing erneut mit der 1. Zeile an. Auf diese Weise konnte eine starre Zuordnung zwischen Zeilen, Pegel- und Phasenverhältnissen vermieden werden, die möglicherweise Zufallsbefunde lieferte. Weiterhin sollten mit Hilfe unabhängig voneinander arbeitender Tonbandgeräte an stets gleicher Stelle auftretende Pegelsprünge durch sogenannte "drop outs" (d.h. kurze Aussetzer durch Staub- oder Fremdpartikel auf dem Band) eliminiert werden (vgl. auch Abb. 5). Auch das regelmäßige zeitliche Zusammenfallen eines bestimmten Anlautes mit einer Störgeräuschimpulsspitze wurde so verhindert. Ob es signifikante Unterschiede zwischen beiden Versuchsserien gab, soll an späterer Stelle diskutiert werden.

Der eigentliche Ablauf gestaltete sich so, daß jeder Person eine Zeile des Freiburger Sprachtestes in der dichotischen Form S_o dargeboten wurde. Dies sollte zur Ermittlung eines Referenzwertes dienen, um Sprachverständnismängel auszuschließen. Die folgende Zeile wurde mit einem um 15 dB niedrigeren Störgeräuschpegel versehen (N_oS_o). Daraufhin erschien eine Zeile später das Nutzsignal, das im übrigen stets mit dem gleichen Pegel abgespielt wurde, in Gegenphase (N_oS_π). Der Proband mußte jeweils die ihm vorgespielten Wörter laut und deutlich nachsprechen. Jedes einwandfrei verstandene Wort wurde registriert und schließlich eine Differenz zwischen den beiden zugehörigen Zeilen gebildet, ausgedrückt in Prozent der richtig verstandenen Wörter. Ergab die Vorspielbedingung N_oS_o zum Beispiel 16 (von 20) richtig verstandene Wörter (entsprechend 80 %) und die Bedingung N_oS_π 18 richtig erkannte Begriffe (entsprechend 90 %), so betrug die Differenz 10 %. Sie

wurde aus allen Zeilen aufsummiert. Der Test wurde mit schrittweiser Erhöhung des Störgeräuschpegels um 3 dB fortgeführt, wobei auf jeder Pegelstufe gleich- und gegenphasige Nutzsignale vorgespielt wurden. Bei einem Störsignalpegel, der um 3 dB höher als der Nutzsignalpegel lag, endete der Test. "0 dB" entsprachen im übrigen einem HTL von 64 dB, unter Berücksichtigung einer Empfehlung von WILBER (1972). Eine Kopfhörerdarbietung wurde derjenigen über Lautsprecher aus mehreren Gründen vorgezogen (siehe auch LANGENBECK, 1970).

3.2 E R G E B N I S S E

Zur Erstellung der Normwerte wurden die Versuchspersonen herangezogen, die sowohl beim Tonaudiogramm als auch bei der ERA und dem Tympanogramm innerhalb der zuvor postulierten "Normalwerte" lagen. Diese Gruppe bestand aus 16 Personen. Zum Vergleich - und ohne statistische Signifikanz - werden noch die Werte aufgeführt, die die beiden Versuchspersonen mit pathologischen Werten im Tonaudiogramm erzielten, bzw. die beiden Versuchsteilnehmer, die lediglich die ERA - Kennzahl von 3,0 überschritten.

3.2.1 E r g e b n i s s e b e i d e r t o n a u d i o m e t r i s c h e n U n t e r s u c h u n g

Im Tonaudiogramm zeigt die Gruppe der "Normalhörigen" summarisch eine ausgewogene Hörcharakteristik bei leichten Absenkungen im Tieftonbereich (250 Hz: 5,9 dB links, 7,3 dB rechts) mit gemittelten Einbußen von 4,1 dB links sowie 5,1 dB rechts.

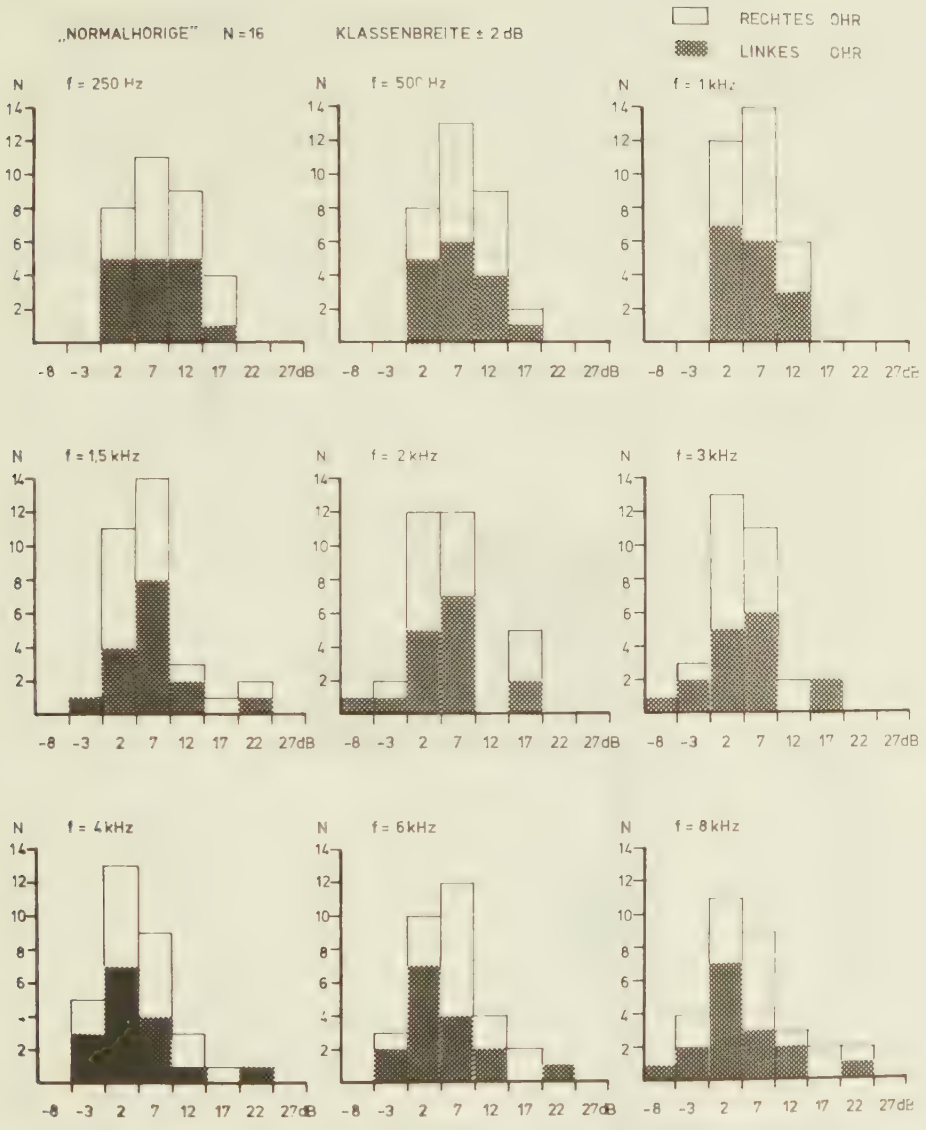

Abb. 6 Histogramm der Hörverluste im Tonaudiogramm, aufgeschlüsselt nach Testfrequenzen.

Nach einzelnen Frequenzen aufgeschlüsselt, ergeben sich Histogramme, deren Klassenbreite so bemessen ist, daß eine Klasse zwei Pegelstufen enthält (zB. 0 und 2,5 dB), da die Auswertung der Audiogramme in Stufen von 2,5 dB erfolgte. Die Klassen wurden mit einer Breite von $\pm$ 2 dB um einen Mittelwert angelegt, der auf der Abszisse eingetragen ist.

Bei den Frequenzen 3, 4 und 8 kHz bestehen Maxima in der Klasse von 2 $\pm$ 2 dB Hörverlust bzw. bei den übrigen Frequenzen (mit Ausnahme von 2 kHz) in der Klasse von 7 $\pm$ 2 dB. Bei 2 kHz sind die Anzahlen innerhalb beider Klassen zahlenmäßig gleich groß. Auffallend ist, daß bei niedrigeren Frequenzen nur 3 bis 4 Klassen belegt sind; bei den Frequenzen ab 1,5 kHz sind es 5 bzw. 6 Klassen, bei 8 kHz gar 7 als Ausdruck einer breiteren Streuung der Hörverluste mit zunehmender Frequenz (s. Abb. 6).

Nur zum Vergleich seien die summarischen Einbußen der Personen mit pathologischer ERA (7,9 dB links bzw. 5,1 dB rechts) sowie derer mit pathologischem Ausfall des Tonaudiogramms (14,9 dB links bzw. 8,1 dB rechts) aufgeführt.

3.2.2 Ergebnisse bei der Tympanometrie

Die Druckwerte, bei denen im Tympanogramm Impedanzminima bestanden, wurden auf einer Abszisse aufgetragen und die dazugehörigen Häufigkeiten in Form eines Histogramms dargestellt. Das Diagramm bildet annähernd eine Normalverteilung um den Wert 0 mmHg in den Klassengrenzen -10 mmHg bis +10 mmHg Druck. Die Einzelwerte lagen im Bereich -80 mmHg bis +50 mmHg; in keinem Fall - auch nicht von den im Tonaudiogramm und in der ERA auffälligen Kindern -

wurde die geforderte Grenze von ± 100 mmHg überschritten (siehe Abb. 7).

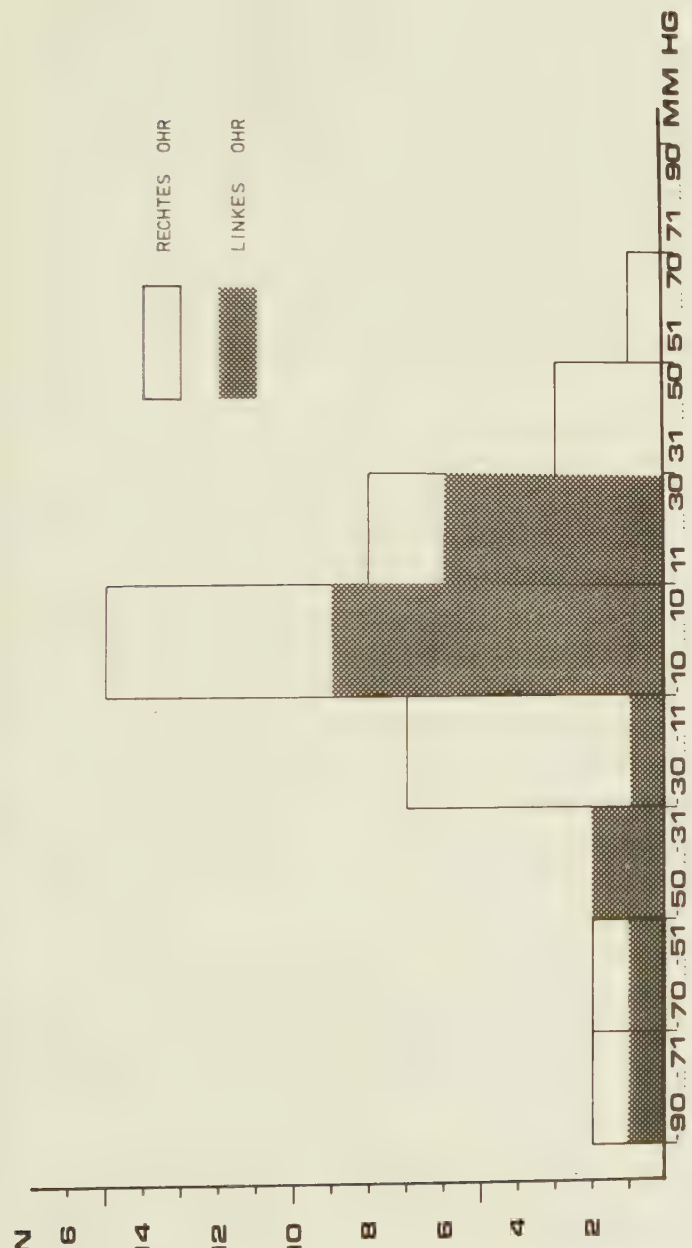

Abb. 7 Histogramm der Häufigkeiten der Druckwerte für Impedanzminima bei der Tympanometrie

3.2.3 Ergebnisse bei der ERA

Nach dem von SCHUNICHT und ESSER (1973) beschriebenen Verfahren wird die ERA überschwellig durchgeführt, indem jeweils 100 Meßzyklen mit unterschiedlichen Periodenzeiten erfolgen. Die hierbei gewonnenen Ergebnisse wurden in ein Kennzahlsystem von 1,0 bis 5,0 transformiert, wobei die höhere Kennzahl ein pathologisches Ergebnis dokumentiert.

Die Gruppe der normalhörigen Schüler erreichte dabei im Mittel eine Kennzahl von $1{,}63 \pm 0{,}65$ für das rechte und $1{,}69 \pm 0{,}57$ für das linke Ohr.

3.2.4 Ergebnisse des binauralen Sprachtestes

Zur Feststellung der bei einem bestimmten Pegel für das begleitende Cocktailpartygeräusch jeweils erzielten Verständlichkeit wurden die Werte von allen Versuchsteilnehmern aus den entsprechenden Wortreihen zu einem Mittelwert zusammengefaßt und dieser in einem Koordinatensystem eingetragen. Durch alle mit der Vorspielbedingung S_o erhaltenen Punkte wurde nun eine Gerade mit Hilfe der Methode der linearen Regression gelegt; entsprechend wurde auch mit den Koordinaten für die aus der Bedingung S_π resultierenden Meßwerte verfahren.

Eine Überprüfung ergab, daß eine lineare Anpassung mit einem Korrelationskoeffizienten von -0,98 für die Bedingung S_o beim ersten binauralen Sprachtest und einem Koeffizienten von -0,97 für alle übrigen Bedingungen sich der tatsächlichen Kurve gut annäherte (zum Vergleich: eine logarithmische Kurvenanpassung hätte niedrigere Koeffizienten zwischen -0,94 und -0,96 zur Folge).

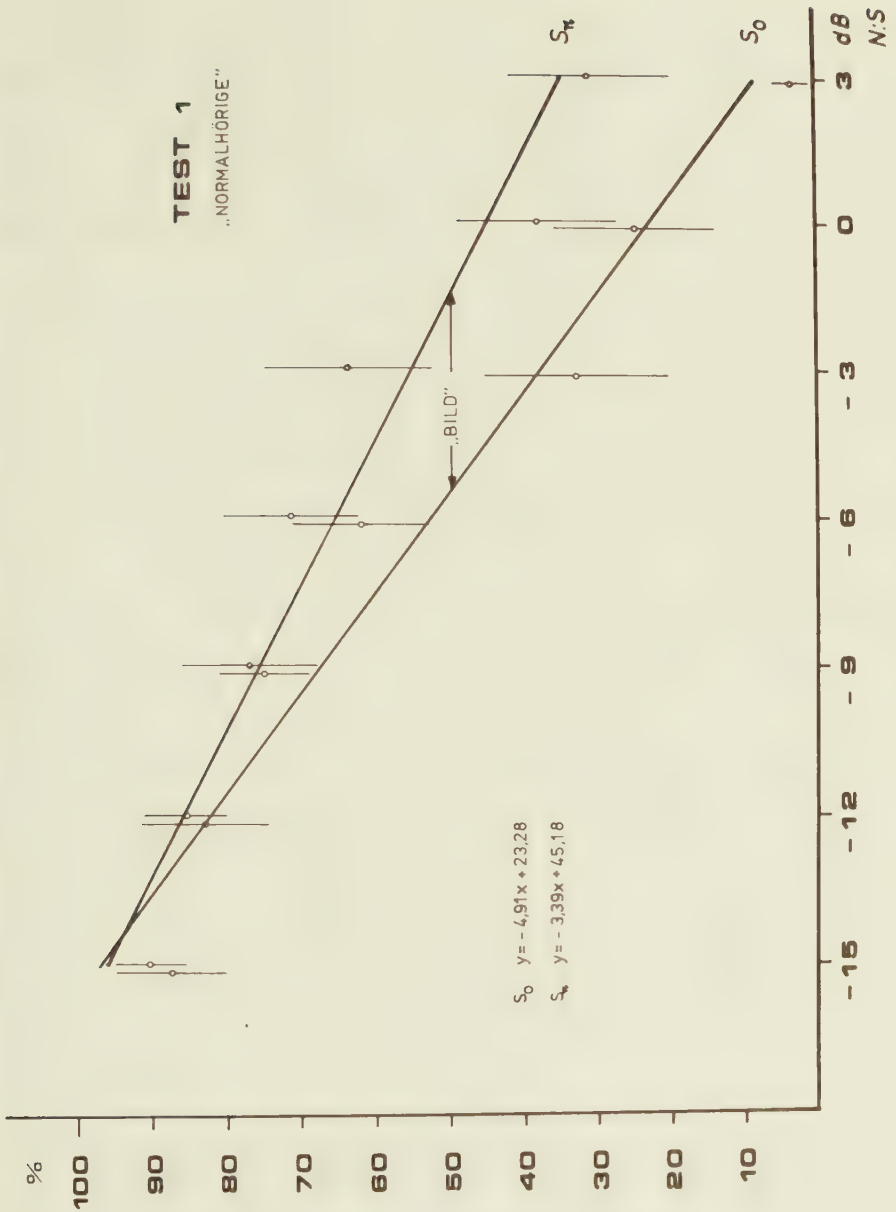

Abb. 8 Mittelwerte der erzielten Verständlichkeit und daraus resultierende BILD - 1 -

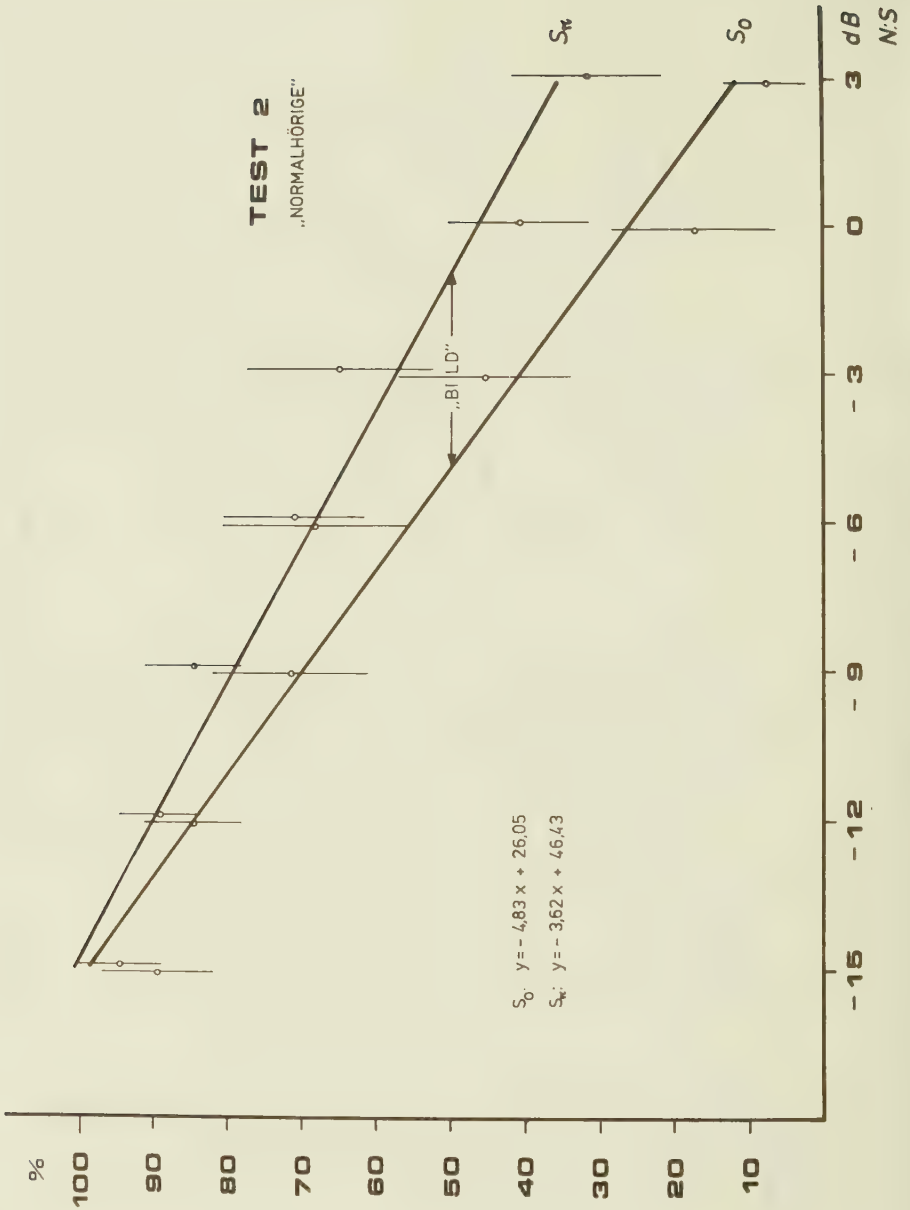

Abb. 9 Mittelwerte der erzielten Verständlichkeit und daraus resultierende BILD - 2 -

Die entstehenden Graphiken für lineare Anpassung zeigen die Abbildungen 8 und 9, ebenso die dazugehörigen Geradengleichungen. Rechnerisch ergibt sich bei einer Verständlichkeit von 50 % eine Differenz zwischen der Bedingung S_o und S_π (also die erwähnte "BILD") von 4,02 dB im ersten und 3,97 dB im zweiten Testdurchlauf. Die tonaudiometrisch auffälligen Probanden erzielten vergleichsweise eine BILD von 3,60 dB im ersten bzw. 4,23 dB im zweiten Durchgang. Dagegen liegt die Gruppe der Versuchspersonen mit pathologischen ERA - Werten mit 2,85 dB im ersten und 3,17 dB im zweiten Sprachtest deutlich niedriger (vgl. Tab. 2; entsprechende Werte für 20 % Verständlichkeit gehen ebenfalls hieraus hervor).

Testgruppe	Verständlichkeit	1. Test (dB)	2. Test (dB)
"Normalhörig"	20 %	6,77	6,06
	50 %	4,02	3,97
pathologisches	20 %	6,46	6,19
Tonaudiogramm	50 %	3,60	4,23
pathologische	20 %	3,82	4,89
ERA	50 %	2,85	3,17

Tab. 2 BILD - Werte der einzelnen Gruppen bei 20 % und 50 % Verständlichkeit

Ein t - Test für Versuchspaare bestätigt, daß zwischen den Bedingungen S_o und S_π jeweils signifikante Unterschiede bestehen (bei der Durchführung des 1. Testablaufs ist mit einer Wahrscheinlichkeit von weniger als 5 % anzunehmen, daß keine Unterschiede zwischen den beiden paarweise zusammengehörenden Werten bestehen; beim 2. Durchgang beträgt die Wahrschein-

lichkeit sogar nicht einmal 1 %).

Im übrigen schnitten sieben Testpersonen beim ersten Mal besser ab, neun dagegen beim zweiten Versuchsablauf.

Trägt man die Differenzen zwischen den erzielten Prozentzahlen bei der Bedingung S_o einerseits und der Bedingung S_π andererseits als Funktion der Pegeldifferenzen zwischen Signal und Störgeräusch in einem Koordinatensystem auf, so erhält man - bei Anwendung der Methode der linearen Regression - die in Abb. 10 und 11 aufgezeigten Geraden. Die hierbei zugrunde liegenden Korrelationskoeffizienten betragen r = 0,80 (Test 1) und r = 0,84 (Test 2).

Schließlich läßt sich durch ein Histogramm die Verteilung der individuell bestimmten BILD - Werte aufschlüsseln; die hierbei gewählte Klassenbreite beträgt 1 dB mit Ausschluß des nächsthöheren ganzzahligen Wertes. Ein Maximum ist für die Klasse von $4 \leqslant x < 5$ dB zu erkennen; hier sind 7 Versuchspersonen angesiedelt (Test 1 und Test 2 zusammengenommen). Das Spektrum reicht insgesamt von 0,57 dB bis 8,93 dB und zeigt annähernd eine Normalverteilung (Abb. 12).

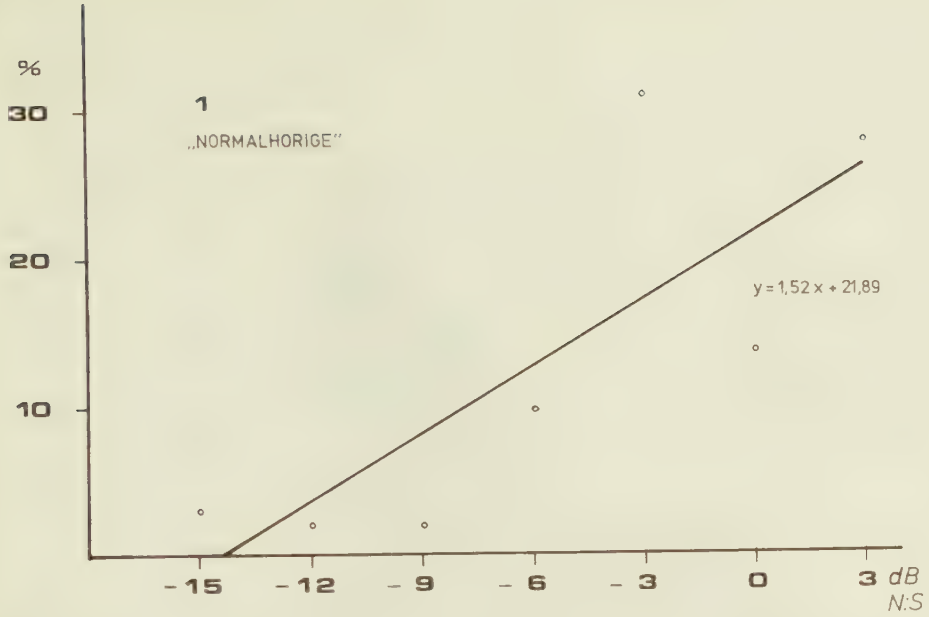

Abb. 10 (siehe Text)

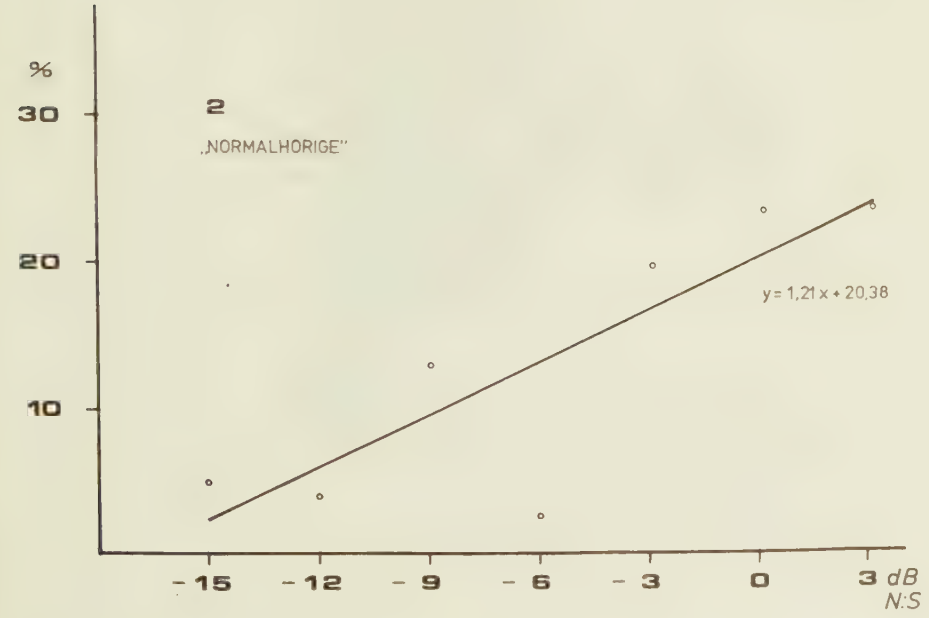

Abb. 11 (siehe Text)

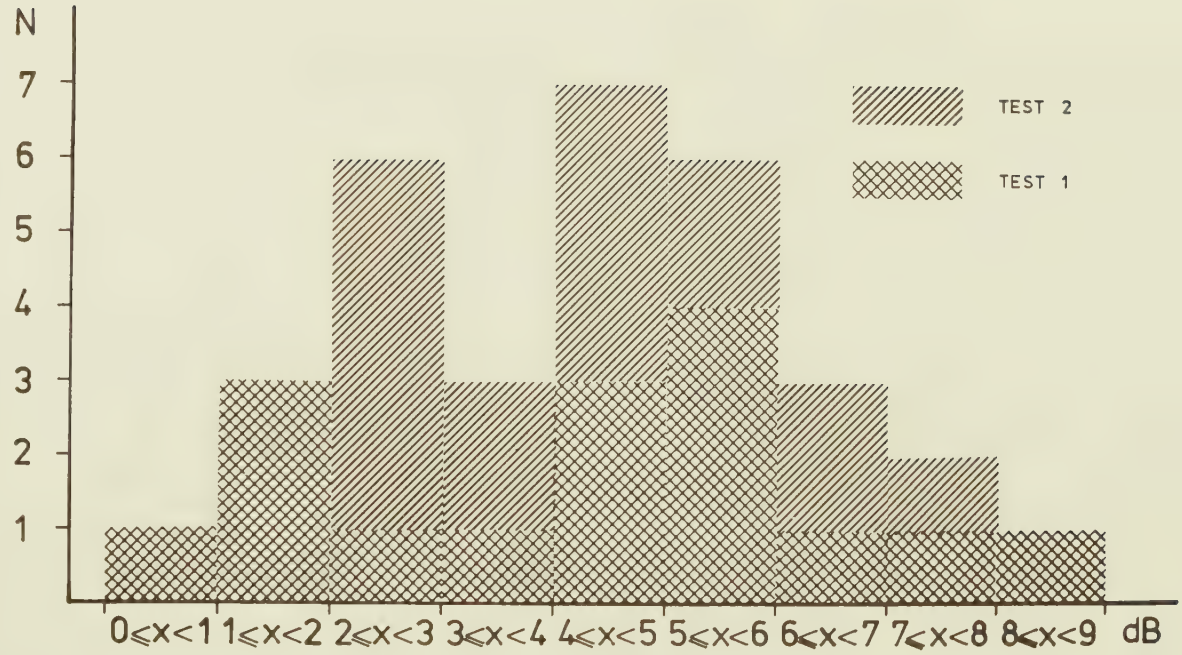

Abb. 12 Histogramm der individuell ermittelten BILD - Werte

4 DISKUSSION

Die vorliegende Untersuchung stützt sich auf eine Altersgruppe von 11 - 15 - jährigen Schülern. Nach einer Beobachtung von KEPHART (1968) weisen ca. 20 % aller Schulkinder in den USA irgendeine Form von Lernschwäche auf; 60 % der wegen Lernschwierigkeiten zur Untersuchung gelangten Kinder zeigen eine gestörte Diskrimination von Sprache unter gleichzeitiger Geräuschdarbietung. Hieraus wird deutlich, daß es gerade zu diesem Zeitpunkt bedeutsam ist, binaurale Hörschäden aufzudecken, um eine mögliche Ursache für Lernstörungen erkennen zu können.

Andererseits bietet diese Altersgruppe noch keine sichere Gewähr für gleichmäßige Ergebnisse. Es ist also zunächst einmal interessant zu erfahren, inwieweit verwertbare Resultate erhoben werden können. HAHLBROCK (1970) weist darauf hin, daß auch bei Personen zwischen 15 und 25 Jahren, die er zur Normierung seines Freiburger Sprachtestes heranzog, Ermüdungserscheinungen im Verlauf der Tests auftraten, bzw. sich bei uninteressierten Probanden ungleichmäßige Ergebnisse einstellten. Unterschiede gab es vor allem zwischen langsam und überschnell reagierenden Personen, die zum einen mit Überlegung, zum anderen oft vorschnell - und damit falsch - antworteten. Subtrahiert man bei den Düsseldorfer Schulkindern die jeweils im ersten durchgeführten Sprachtest erzielten aufsummierten Prozentzahlen von denen aus dem zweiten Test, so liegt der Mittelwert hieraus annähernd bei 0 % (genau 2,5 %). Dies gibt einen ersten Hinweis für gleichwertige Ergebnisse aus beiden Tests bei jedoch im Einzelfall erheblichen Schwankungen. Letztlich mag das auf mehreren Faktoren beruhen; so bewirkt die über ca. 1/2 Stunde einwirkende gleich-

mäßige, monoton klingende Geräuschkulisse des "Partygeräusches" eine Hörermüdung.

YOST (1977) beschreibt in diesem Zusammenhang eine Änderung der Tonhörschwelle, die auch nach Beendigung eines über längere Zeit gegebenen Stimulus noch nachweisbar ist, als "temporary threshold shift". Sie vermag Beträge von ca. 50 dB bei Beschallungen mit 115 dB über 20 Minuten auszumachen.

KEITH (1976) gibt nach einem Zitat von REGER (1965) mögliche Gründe für Einflüsse auf die Reliabilität audiometrischer Tests an; so u.a. seelische Verfassung, Intelligenz, Reaktionszeit und Erfahrungen mit Prüfungen, wie auch eine geistige Bereitschaft, die sich im Interesse der Versuchspersonen und der Kooperation ausdrückt. Insgesamt sollten Voraussetzungen vorliegen, die zum Teil bei 11 bis 15 - Jährigen noch nicht erwartet werden können.

Daß dennoch eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden Testdurchgängen - trotz methodischer Abwandlungen - besteht (die BILD betrug beim ersten 4,02, beim zweiten 3,97 dB), mag teilweise auf der Ausschaltung vermeidbarer Störfaktoren beruhen. So wurden Laufzeitunterschiede des Schalls wie auch Einwirkungen von Umweltgeräuschen durch Kopfhörerdarbietung in einem schallgedämpften Raum eliminiert, vor jeder Messung eine erneute Kalibrierung der Anlage vorgenommen und eine standardisierte Darbietung durchgeführt. CARHART (1965) kritisiert, daß die Tonbandpräsentation eines Sprachsignales Eigenheiten eines Sprechers ständig in den Test einfließen läßt. Beim binauralen Sprachtest heben sich jedoch gerade diese Einflüsse auf, da jeweils eine Bedingung N_oS_π mit N_oS_o verglichen wird.

Als Vorspielpegel wurde 64 dB gewählt (70 dB entsprachen Vollaussteuerung des Audiometers;

um kurzfristige Übersteuerungen zu vermeiden, wurden die Signale bei einem mittleren Pegel von -6 dB abgespielt), da die Zuverlässigkeit mit steigendem Darbietungspegel zunimmt (CARHART, 1965), andererseits die Schwellenwerte für eine unangenehm laute Darbietung nicht erreicht werden (DIRKS, KAMM, 1976).

Nach einer Beobachtung von WARREN (1970) können durch Störgeräusche verdeckte Teile eines Wortes dennoch als gehört empfunden werden, wenn der fehlende Wortbestandteil zwingend ergänzt wird. Ein Konsonant am Wortanfang, der durch einen anderen sinnhaft ersetzt werden könnte, wird nicht mehr sicher verstanden. Da der Freiburger Sprachtest aus einzelnen Wörtern ohne Sinnzusammenhang besteht, war es interessant, ob durch die starre Kopplung von Geräusch und Nutzsignal auf einem Tonband ein stets an gleicher Stelle einfallendes Störgeräusch, bzw. eine Geräuschimpulsspitze zu einem signifikant anderen Ergebnis führte als statistisch verteilte Störspitzen bei Darbietung durch getrennte Tonbänder (wie beim zweiten Testablauf). Zusätzlich sollte der Einfluß einer möglichen Ungleichmäßigkeit der Wortreihen durch turnusmäßigen Wechsel ausgeschaltet werden.

Da nur minimale Unterschiede im Gesamtergebnis zwischen dem ersten und zweiten Testdurchgang auftraten, sprach dies gegen einen gravierenden Einfluß durch die vorgenannten Faktoren, wenn auch einzelne Wörter des Freiburger Sprachtests häufiger falsch wiederholt wurden als andere (zB. Paß - "Haß"; Drang - "Rang"; Block - "Lok").

Die in der Literatur angegebenen Werte für die BILD stimmen mit den in Düsseldorf erzielten Ergebnissen im allgemeinen gut überein. So gibt LICKLIDER (1948) in seiner grundlegenden Arbeit zur BILD bei

der Konstellation N_0S_π etwa 3,0 bis 3,5 dB bei Verwendung von Breitbandrauschen an (4,02 dB bzw. 3,97 dB bei der vorliegenden Untersuchung). LEVITT und RABINER (1967) führen dagegen bei derselben Konstellation Werte von 6 dB auf. Zum einen muß man jedoch zwischen zwei Meßarten unterscheiden:

1) Das Pegelverhältnis Nutz- zu Störsignal zur Erkennung von Sprachsignalen wird zugrunde gelegt.
2) Die Pegelunterschiede Nutz- zu Störsignal, die zum Verständnis der Sprachsignale erforderlich sind, werden bestimmt.

Da die vorliegende Arbeit auf der zweiten Grundlage basiert, muß ein Vergleich unter diesen Voraussetzungen erfolgen; andererseits soll auch der Verständlichkeitsgrad benannt werden, bei dem die BILD bestimmt wird.

LICKLIDER (1948) untersuchte als erster die Verständlichkeitszunahme in der N_0S_π - Konstellation. Bei Verständlichkeitsziffern zwischen 20 % und 30 % erzielte er etwa 6 dB Gewinn. Zum Vergleich seien die in Düsseldorf gemessenen BILD - Werte angeführt, die bei Verständlichkeiten von 20 % (1. Test: 6,77 dB; 2. Test: 6,06 dB) bzw. 30 % (1. Test: 5,85 dB; 2. Test: 5,36 dB) ermittelt wurden. Diese Ergebnisse bestätigen im übrigen die Bemerkung von GREEN und YOST (1976), daß die BILD - und damit eine Verständlichkeitsverbesserung durch binaurales Hören - mit kleiner werdendem Signal - zu Störgeräuschquotienten zunimmt.

Nur beschränkte Aussagen lassen sich bezüglich der gewonnenen Ergebnisse bei Kindern mit pathologischem Ausfall des Tonaudiogramms wegen der geringen Fallzahl (N = 2) machen. Immerhin scheint die BILD mit 3,6 dB (1. Test) bzw. 4,2 dB (2. Test) bei 50 % Verständlichkeit (6,5 dB im ersten Test bzw. 6,2 dB

im 2. Test bei 20 % Verständlichkeit) in der gleichen Größenordnung zu liegen wie bei Normalhörigen.

FINDLAY und DENENBERG (1977) konnten - unter Verwendung eines "Cocktailpartygeräusches" - nachweisen, daß Personen mit Lärmschwerhörigkeit bei Tiefpaßfilterung bessere Verständlichkeitswerte zeigten als Normalhörige; sie führten das darauf zurück, daß diese Personengruppe maximal an die Erkennung von Sprachsignalen im Mittelfrequenzbereich unter Lärmbedingungen gewöhnt ist. Auch diese Tatsache würde dafür sprechen, daß diskrete Senken im Tonaudiogramm nicht maßgebend für schlechtere Wortverständlichkeit bei begleitenden Geräuschen sein müssen.

Vergleichsweise - und wie schon betont, ohne Signifikanz - liegt die BILD bei den Kindern mit pathologischen ERA - Ergebnissen (N = 2) offensichtlich deutlich niedriger (BILD bei 50 % Verständlichkeit: 2,9 dB im ersten Test; 3,2 dB im zweiten Test) und zeigt bei 20 % Verständlichkeit Werte von 3,8 dB im ersten Test bzw. 4,9 dB im zweiten Test, was im Gegensatz zu den anderen Versuchsgruppen einen geringeren Anstieg der BILD und niedrigere Verständlichkeitsziffern bedeuten würde. Hieraus könnte die Vermutung abgeleitet werden, daß Personen mit rein schallperzeptiven Störungen durchaus normale BILD - Werte erreichen können (möglicherweise mit erhöhten Darbietungspegeln bei konstantem Nutz- zu Störsignalquotienten, was allerdings nicht untersucht wurde), Personen mit zentralen Hörstörungen dagegen Einbußen im binauralen Hörtest zeigen. Zur statistisch verwertbaren Beantwortung dieser Frage müßte allerdings ein anderer Personenkreis untersucht werden, bei dem - im Gegensatz zu hier - gerade Hörstörungen vorliegen sollten.

Zum verwendeten Störgeräusch sind noch Anmerkungen zu machen. Die von GREEN und YOST (1976) geäußerte Hypothese, daß die BMLD mit sinkender Bandbreite des Störsignals anwächst, läßt sich nicht ohne weiteres auf die BILD übertragen, da das eigentliche Nutzsignal - die Sprache - ein Frequenzband umfaßt und nicht eine spezielle Mittenfrequenz besitzt. Wie SANDERS (1972) feststellt, scheint weißes Rauschen sogar wirkungsvoller zur Verdeckung von Sprache zu sein; es wird lediglich noch von "speech - noise" (tief- und mittelfrequent gefiltertes weißes Rauschen) übertroffen.

Durch die Verwendung des "Cocktailpartygeräusches" sollte eine Annäherung in Bezug auf Frequenzspektrum, Impulsverteilung und Anstiegs- bzw. Abfallzeiten der Signale an normale Sprache erreicht werden. Ein Vorteil gegenüber Breitbandrauschen - wie es zB. LICKLIDER verwendet hat - scheint sich jedoch nicht abzuzeichnen.

Dennoch scheint es sinnvoll, mit Hilfe des "Cocktailpartygeräusches" das soziale Hörvermögen zu testen, um mit Hilfe eines an Umweltgeräusche angenäherten Störsignals den möglichen Einfluß rein "physikalischer", das heißt, unnatürlicher Geräusche auf die Diskrimination des Nutzsignals "Sprache" von vornherein auszuschalten.

Inwieweit das "Cocktailpartygeräusch" bei der Ermittlung des sozialen Hörvermögens hilfreich sein kann, könnte am besten durch die Prüfung von Schulkindern mit hörbedingten Lernstörungen erfolgen, die zum einen mit dem "Cocktailpartygeräusch", zum anderen mit einem reinen Breitbandrauschen den vorbeschriebenen Test absolvieren. Sollte sich hierbei ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Störsignalarten abzeichnen, wäre dies möglicherweise

sogar diagnostisch zu verwerten.

Im übrigen scheint für eine routinemäßige Durchführung die Wiedergabe über separate Bandgeräte nicht erforderlich zu sein, eine starre Kopplung zwischen Sprach- und Geräuschsignal bringt nach den vorliegenden Erkenntnissen keine nennenswerten Einbußen.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde aus einem Kollektiv von Düsseldorfer Schulkindern im Alter von 11 bis 15 Jahren eine Personengruppe mit Hilfe orientierender audiometrischer Tests (Tonaudiogramm, Tympanogramm, ERA) ausgewählt, die normalhörig (N = 16) oder aber nur bei einem der Tests auffällig war (ein pathologisches Tonaudiogramm wiesen 2 Kinder auf, einen pathologischen Ausfall der ERA ebenfalls 2 Kinder).

Mit Hilfe des Freiburger Sprachtests wurde eine binaurale Hörprüfung unter Verwendung eines sogenannten "Cocktailpartygeräusches" durchgeführt. Hierbei wurde die Bedingung N_oS_π mit der Referenzdarbietung N_oS_o verglichen. Ein erster Versuchsablauf beruhte auf der Darbietung mit einem Tonbandgerät, also gekoppelten Signal- und Störgeräuschen bei fester Zuordnung der Wortreihen zu den einzelnen Vorspielbedingungen. Bei einer zweiten Serie wurden dagegen die Wortreihen periodisch verschoben bei getrennter Signal- bzw. Störgeräuschquelle.

Es konnte gezeigt werden, daß beide Methoden praktisch gleichwertige Ergebnisse lieferten. Die BILD (binaural intellegibility level difference) lag bei einer Verständlichkeit von 50 % bei 4,02 dB (bzw. 3,97 dB in der zweiten Versuchsreihe) und betrug 6,77 dB (2. Test: 6,06 dB) bei 20 % Verständlichkeit. Damit entsprach sie im wesentlichen den in der Literatur erwähnten Werten. Ein durchgeführter t - Test bescheinigte überdies bei einem $p < 0,05$ bzw. $p < 0,01$ eine hohe Signifikanz.

Darüber hinaus konnte die Vermutung geäußert werden, daß schallperzeptive Störungen nicht, zentrale Hörstörungen dagegen offensichtlich in die Größe der resultierenden BILD eingehen.

Die Verwendung eines "Cocktailpartygeräusches" scheint keine signifikante Erhöhung der BILD gegenüber den von anderen Autoren beschriebenen Verfahren zu liefern.

6 LITERATURVERZEICHNIS

B A R A N Y, R. Worttabellen zur Hörprüfung. Verh. otol. Ges. Dresden (1910)

B E R G M A N, M. Binaural Hearing. Arch. Otolaryngol., 66, 572 - 578 (1957)

B E R L I N, C.I.; S.S. LOWE Temporal and dichotic factors in central auditory testing in: Handbook of Clinical Audiology, hrsg. v. J. Katz, Baltimore, The Williams and Wilkins Co. (1972)

B L A U E R T, J. Räumliches Hören. 1. Aufl., Stuttgart, S. Hirzel (1974)

B L O D G E T T, H.C.; L.A. JEFFRESS; R.H. WHITWORTH Effect of noise at one ear on the masked threshold for tone at the other. J. Acoust. Soc. Am., 34, 979 - 981 (1962)

B O U R B O N, W.T.; L.A. JEFFRESS Effect of bandwith of masking noise on detection of homophasic and antiphasic tonal signals. J. Acoust. Soc. Am., 37, 1180 (1965)

C A R H A R T, R. Problems in the measurement of speech diskrimination. Arch. Otolaryngol., 82, 253 (1965)

C H E R R Y, E.C. Some experiments on the recognition of speech with one ear and with two ears. J. Acoust. Soc. Am., 25, 975 - 979 (1953)

D I R K S, D.D.; C. KAMM Psychometric functions for LDL and MCL. J. Speech Hear. Res., 19, 613 - 627 (1976)

D U R L A C H, N.I. Note on the equalization and cancellation theory of binaural masking level differences. J. Acoust. Soc. Am., 35, 1206 - 1218 (1963)

E G A N, J.P. Articulation testing methods. Laryngoscope, 58, 622 (1948)

F A L C O N N E T, P. La mésure directe de la surdité vis-a-vis du langage parlé. Ann. Otolaryngol., 4, (1950)

F I N D L A Y, R.C.; L.J. DENENBERG Effects of subtle midfrequency auditory dysfunction upon speech discrimination in noise. Audiology, 16, 252 - 259 (1977)

F L A N A G A N, J.L.; B.J. WATSON Binaural unmasking of complex signals. J. Acoust. Soc. Am., 40, 456 - 468 (1966)

G O E T Z I N G E R, C.P. Word discrimination testing in: Handbook of Clinical Audiology, hrsg. v. J. Katz, Baltimore, The Williams and Wilkins Co. (1972)

G R E E N, D.M.; G.B. HENNING Audition. Ann. Rev. Psychol., 20, 105 - 128 (1969)

G R E E N, D.M.; W.A. YOST Binaural Analysis in: Handbook of Sensory Physiology, hrsg. v. W.D. Keidel, W.D. Neff, Vol. V/3, New York, Springer (1976)

H A H L B R O C K, K.H. Sprachaudiometrie. 2. Aufl., Stuttgart, Thieme (1970)

H I R S H, I.J. The influence of interaural phase on interaural summation and inhibition. J. Acoust. Soc. Am., 20, 536 - 544 (1948a)

H I R S H, I.J. Binaural summation and interaural inhibition as a function of the level of the masking noise. Am. J. Psychol., 56, 205 - 213 (1948b)

J E F F R E S S, L.A. A place theory of sound localization. J. Comp. Physiol. Psychol., 61, 468 - 486 (1948)

J E F F R E S S, L.A.; H.C. BLODGETT; T.T. SANDEL; C.L. WOOD Masking of tonal signals. J. Acoust. Soc. Am., 28, 416 - 426 (1956)

J E F F R E S S, L.A. Binaural signal detection: Vector theory in: Foundations of Modern Auditory Theory, hrsg. v. J.V. Tobias, Vol. 2, New York, Academic Press (1972)

K E I D E L, W.D.; M. SPRENG Elektronisch gemittelte langsame Rindenpotentiale des Menschen bei akustischer Reizung. Acta otolaryng., 56, 318 (1963)

K E I T H, R.W. in: Hearing Disorders, hrsg. v. J.L. Northern, 1. Aufl., Boston, Little, Brown & Co. (1976)

K E P H A R T (1968) (zit. n. KATZ, J.; R. ILLMER) Auditory perception in children with learning disabilities in: Handbook of Clinical Audiology, hrsg. v. J. Katz, Baltimore, The Williams and Wilkins Co. (1972)

L A M P E R T, H. Die Mängel der bisherigen Hörprüfung mit der Sprache. Z. Hals- Nasen- und Ohrenheilk., 5, 69 (1923)

L A N G E N B E C K, B. Lehrbuch der praktischen Audiometrie (fortgeführt v. E. Lehnhardt). 4. Aufl., Stuttgart, Thieme (1970)

L A N G F O R D, T.L.; L.A. JEFFRESS Effect of noise crosscorrelation on binaural signal detection. J. Acoust. Soc. Am., 36, 1455 - 1458 (1964)

L E V I T T, H.; L.R. RABINER Binaural release from masking for speech and gain in intellegibility. J. Acoust. Soc. Am., 42, 601 - 608 (1967)

L I C K L I D E R, J.C.R. The influence of interaural phase relations upon the masking of speech by white noise. J. Acoust. Soc. Am., 20, 150 - 159 (1948)

M E I S T E R, F.J. Akustische Meßtechnik der Gehörprüfung. Karlsruhe, Braun (1954)

M E T Z, P.J.; G. v. BISMARCK, N. DURLACH Noise bandwidth and interaural phase. J. Acoust. Soc. Am., 43, 1085 - 1091 (1967)

M O I R, J. Stereophonic Reproduction. Audio Engineering 26 - 28; 69 - 72 (Okt. 1952)

P L A T H, P. Das Hörorgan und seine Funktion. 3. Aufl., Berlin, Marhold (1976)

R I N N E, H.A. Beiträge zur Physiologie des menschlichen Ohres. Vjschr. prakt. Med., 157 (1855)

R O B I N S O N, D.E.; L.A. JEFFRESS Effect of varying the interaural noise correlation on the detectability of tonal signals. J. Acoust. Soc. Am., 35, 1947 - 1952 (1963)

S A N D E R S, J.W. Masking in: Handbook of Clinical Audiology, hrsg. v. J. Katz, Baltimore, The Williams and Wilkins Co. (1972)

S C H E N K E L, K.D. Über die Abhängigkeit der Mithörschwellen von der interauralen Phasenlage des Testschalls. Acustica 14, 337 -346 (1964)

S C H U N I C H T, R.; G. ESSER ERA - Befunde bei zentralen Hörstörungen. Arch. Oto- Rhino- Laryng., 206, 217 - 224 (1974)

S C H U N I C H T, R.; G. ESSER Vergleich anamnestischer und symptomatischer Daten mit Befunden der Stapedius - Reflex - Audiometrie und der ERA bei zentralen Hörstörungen. Arch. Oto- Rhino- Laryng., 210, 315 - 317 (1975)

S C H W A B A C H, D. Über den Werth des Rinneschen Versuches für die Diagnostik der Gehörkrankheiten. Z. Ohrenheilk., 14, 61 (1885)

S T U M P F, C. Binaurale Tonmischung, Mehrheitsschwelle und Mitteltonbildung. Z. Psychol., 75, 340 (1916)

S C H U B E R T, E.D.; M.C. SCHULTZ Some aspects on binaural signal selection. J. Acoust. Soc. Am., 34, 844 - 849 (1962)

W A R R E N, R.M. Perceptual restoration of missing speech sounds. Science, 167, 392 - 393 (1970)

W E B E R, E.H. Der Tastsinn und das Gemeingefühl in: Wagners Handwörterbuch der Physiologie, Bd. III/2, Braunschweig (1846)

W I L B E R, L.A. Calibration: Pure tone, speech and noise signals in: Handbook of Clinical Audiology, hrsg. v. J. Katz, Baltimore, The Williams and Wilkins Co. (1972)

Y O S T, W.A.; D.W. NIELSEN Fundamentals of Hearing. Holt, Rinehart and Winston (1977)

Z E R L I N, S. Interaural time and intensity difference and the MLD. J. Acoust. Soc. Am., 39, 134 - 137 (1966)

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. G. Esser für die Überlassung des Themas sowie die tatkräftige Unterstützung und fachliche Beratung danken, die er mir bei der Fertigstellung der Arbeit zukommen ließ.

Mein Dank gilt aber auch den Mitarbeitern des Forschungslabors für Medizinische Akustik, die freundlicherweise bereit waren, bei den technischen Vorbereitungen der Versuche mir helfend zur Seite zu stehen.

L E B E N S L A U F

Am 9.3.1954 wurde ich als Sohn des praktischen Arztes Dr. med. Hermann Wilke und seiner Ehefrau Rosemarie, geb. Woellert in Wattenscheid geboren. Ich besuchte von 1960 bis 1964 die Volksschule in Wattenscheid und wechselte von 1964 an auf das Städt. Math. und Naturwiss. Gymnasium in Wattenscheid über, wo ich 1972 die Reifeprüfung ablegte. Im gleichen Jahr nahm ich das Studium der Biologie an der Ruhr - Universität in Bochum auf, 1973 erfolgte die Immatrikulation für das Studienfach Medizin an der Universität Düsseldorf. Hier bestand ich 1975 das Physikum und konnte nach einem Praktischen Jahr an der Gesamthochschule Essen von 1979 bis 1980 den 3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung in Essen ablegen.

Seit 1979 bin ich mit meiner Frau Dr. Ursula Wilke verheiratet; 1980 habe ich eine Stelle als Assistenzarzt in der Inneren Abteilung der St. Lukas-Klinik angenommen und bin seit 1981 in der Chirurgischen Abteilung dieses Hauses tätig.